This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Transp
ALL
T
4
.N
1

DESCRIPTION

DES MACHINES

A VAPEUR.

DESCRIPTION

DES MACHINES

A VAPEUR,

ET

Détail des principaux changemens qu'elles ont éprouvés depuis l'époque de leur invention, et des améliorations qui les ont fait parvenir à leur état actuel de perfection;

PAR M. NICHOLSON.

TRADUIT DE L'ANGLAIS

PAR T. DUVERNE,

Ancien Officier de la Marine Royale, Chevalier de l'Ordre de Saint-Louis.

QUATRIÈME ÉDITION.

REVUE, CORRIGÉE ET AUGMENTÉE.

LIEGE,

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIELLE

DE A. LEROUX ET Cie,

PASSAGE LEMONNIER, N° 1.

LIBRAIRIES LEROUX,

A MONS, BRUXELLES, GAND, ANVERS.

1839.

1/0-7-30
Transport.

11-5-48 ZW

PRÉFACE

DU TRADUCTEUR.

La description des machines à vapeur que nous offrons au public est extraite d'un ouvrage anglais de Nicholson sur les arts mécaniques. Nous possédons, dans notre langue, plusieurs traités dans lesquels ces machines ont été décrites avec autant d'habileté que d'exactitude; mais ils font partie d'ouvrages où beaucoup d'autres sujets analogues ont reçu des développemens également étendus; et dès lors ils sont trop volumineux et trop chers pour être aussi répandus qu'il serait nécessaire qu'ils le fussent pour aider l'industrie dans la direction qu'elle a prise. Nous avons donc pensé qu'un ouvrage d'une étendue limitée, et consacré uniquement aux machines à vapeur, ne pourrait être que favorablement accueilli par tous ceux qui sentent combien il est important de populariser, pour ainsi dire, un art dont les résultats sont aussi utiles qu'étonnans, mais qui est bien loin d'être cultivé en France autant qu'il serait à désirer qu'il le fût, autant qu'il le sera avant peu sans doute.

Le travail de M. Nicholson fait connaître les changemens et les perfectionnemens successifs qu'a reçus en Angleterre la machine à vapeur, depuis le moment où l'on a eu l'idée d'employer la force élastique de la vapeur comme moteur des machines, jusqu'à l'époque actuelle où, après un très grand nombre d'essais plus ou moins heureux, on est parvenu à la construction de celles qui sont actuellement en usage. Dans cette construction on a dû chercher à combiner la sûreté dans l'emploi de la vapeur, la solidité et la simplicité dans les diverses parties des machines, et l'économie dans la dépense en matériaux et en combustibles. Ce triple but a été atteint jusqu'à un certain point. Sans doute les machines à vapeur recevront de nouvelles améliorations; mais elles ne peu-

vent guère éprouver de changemens dont l'idée ne se soit déjà présentée. Le traité que nous publions, en indiquant ceux qui seraient désirables, tend à prémunir contre les illusions de leur imagination les personnes qui, séduites par des aperçus trompeurs, pourraient être tentées de se livrer à des essais que d'autres ont déjà faits vainement, et qui n'en pourraient avoir l'idée que faute d'avoir suffisamment approfondi les principes d'un art dans lequel des tentatives irréfléchies ne sauraient être faites impunément.

Les dangers auxquels exposent les machines à vapeur les plus parfaites, soit par quelque vice inaperçu de construction, soit par défaut de soin, ou par imprudence de la part de ceux qui les conduisent, ont fait souvent désirer de pouvoir substituer à la vapeur un moteur qui offrît une puissance équivalente et une plus grande sûreté. M. Brown croit avoir découvert ce moteur, et il a pris un brevet d'invention en Angleterre pour sa découverte. L'idée nous en a semblé si ingénieuse, et nous la regardons comme tellement importante, si l'expérience démontre la possibilité de son application, que nous avons cru devoir joindre au traité de Nicholson sur les Machines à vapeur, la description qu'il donne de la découverte de Brown.

Nous avons conservé dans la traduction les poids et les mesures d'Angleterre dont il est question dans l'original. Nous y avons le plus souvent joint la valeur en mesures françaises. Mais, pour être mieux compris par ceux qui ne connaissent pas les mesures anglaises, nous devons avertir que le pied anglais est égal à 0,304799 mètre; et que la livre anglaise (livre avoir du poids) dont on parle dans cet ouvrage, est égale à 0,454 kilogramme à très peu près.

Depuis le 1er janvier 1826, on ne peut plus employer légalement en Angleterre que des mesures uniformes; mais le pied légal conservé, et la livre avoir du poids conservée sont les mêmes que celles dont nous venons de faire connaître la valeur en poids et en mesures françaises.

DESCRIPTION

DES

MACHINES A VAPEUR.

De toutes les découvertes modernes, la plus remarquable est celle de la machine à vapeur, et c'est avec beaucoup de raison qu'on l'a nommée « la plus noble production de l'industrie de l'homme. » L'honneur d'avoir le premier appelé l'attention du genre humain sur la force expansive de la vapeur formée dans un vaisseau clos appartient au marquis de Worcester qui vivait sous le règne de Charles II; mais son ouvrage, publié en 1663, n'est ni assez détaillé ni assez clair pour qu'on puisse déterminer quelle espèce d'appareil ou quelle combinaison de machines il employait pour tirer parti de cette force. Cependant il n'en est pas moins naturel de supposer, malgré le vague de ses expressions, que c'est à la direction que ses observations firent prendre aux idées des autres qu'est dû le premier usage qu'on a fait de la vapeur comme principal moteur des machines.

L'eau exposée à l'action de la chaleur se dilate, et passe à cet état gazeux que l'on nomme vapeur. Si on l'enferme dans un vaisseau clos, et qu'on y applique la chaleur, alors sa faculté expansive se développe avec une force considérable; et comme l'espace entre la partie supérieure de l'eau et le haut du vaisseau qui la contient est rempli par de l'air atmosphérique, la première portion de la puissance exercée par la dilatation de la vapeur est employée à déplacer cet air de la

situation que son poids lui avait fait prendre, et par conséquent une portion égale de l'action directe de la force expansive de la vapeur doit être déduite de sa puissance disponible. Cependant, en dernier résultat, cette portion de force devient profitable. En effet, comme une diminution de température ramène la vapeur à son premier état d'eau, elle laisse alors vide l'espace qu'elle avait rempli, et l'air qu'elle avait déplacé retourne à sa première situation, en exerçant pour cela une force exactement pareille à celle que la vapeur avait employée pour le déplacer. Cette dernière force peut être dite la force médiate de la vapeur. L'art de diriger et de balancer ces deux forces, de manière à les faire servir à la production d'un mouvement uniforme, est presque parvenu à sa perfection dans la machine à vapeur; et les diverses modifications qu'on a fait subir à cette machine n'ont eu d'autre objet qu'un balancement plus exact, une application plus avantageuse, et une production plus économique de ces forces.

Afin de faire comprendre, avec la plus grande clarté, la manière dont la vapeur opère, nous supposerons qu'un vase, tel que celui qu'on voit (*fig.* I), contient de l'eau jusqu'à la hauteur de la ligne A; que l'espace E est occupé par de l'air; qu'un bouchon ou piston de même diamètre que le vase en ferme l'ouverture en C, enfin qu'il y a une ouverture en D. Maintenant si l'ouverture D est bouchée, et qu'on chauffe l'eau en F, il se formera de la vapeur dont la force expansive soulèvera le piston C; alors si l'on retire le feu, et que le vase se refroidisse subitement, il y aura condensation; la vapeur, reprenant la forme d'eau, occupera de nouveau l'espace au-dessous de la ligne A, et le piston C reviendra à sa place. Dans cette expérience la force expansive de la vapeur a comprimé l'air dans l'espace E, et obligé le piston C de s'élever jusqu'en H, par exemple; mais en se rendant de C en H, le piston a déplacé autant d'air qu'il s'en trouvait dans le tube de C en H; par conséquent, la portion ainsi déplacée cherchera à reprendre sa position naturelle; et lorsque la condensation aura détruit la force de

la vapeur, le pods de cette portion d'air fera retomber le piston C à sa place; d'où il suit évidemment que l'élévation du piston est le résultat de l'action directe de la vapeur; et que le retour de ce même piston est le résultat de son action médiate, ou de l'action de l'air de l'atmosphère qui n'a été que la conséquence de son déplacement par la force de la vapeur

A présent, si nous supposons que le piston étant dans sa première position, en C, on débouche l'ouverture D, et qu'on chauffe le vase, la vapeur s'élèvera dans l'espace E, et chassera l'air par l'ouverture D. Celle-ci étant alors fermée, si l'on condense la vapeur, le vide se fera dans l'espace E, et l'air tendant à remplir cet espace forcera le piston à descendre de C en A. Ici le mouvement du piston C n'est causé que par l'effort que fait l'air pour reprendre la position dont il avait été chassé, par la force de la vapeur, à travers l'ouverture D; et cet effet est la conséquence de la force médiate de la vapeur seule.

Les expériences ont fait connaître que la pression de l'atmosphère est égale à environ quatorze livres avoir du poids, sur un pouce carré anglais (environ 10 grammes sur un millimètre carré). Ainsi, en supposant la surface du vase, *fig.* 1, égale à un pouce carré (645 millimètres carrés), la force exercée par la vapeur pour élever le piston de C en H doit être capable d'élever à cette hauteur un poids de 14 livres (6,356 kil.), indépendamment de celle necessaire pour vaincre le frottement et le poids du piston dans le cylindre; de plus, et dans la même supposition, la force exercée par la vapeur pour chasser l'air de l'espace E, et obtenir la pression qui en est la conséquence, et qui répond à un poids de 14 livres élevé de A en C, devra être égale à un poids de 14 livres élevé de C en H, moins la quantité équivalente au frottement du piston; enfin la force disponible obtenue par le retour du piston du point H sera égale à un poids de 14 livres élevé de C en A, moins l'équivalent du frottement du piston. Dans ces deux cas-ci, la dilatation ou la force directe de la vapeur n'a été con-

sidérée que comme équivalente au déplacement de l'atmosphère, ou, ce qui est la même chose, à une pression de 14 livres sur un pouce carré : mais si le piston était chargé d'un poids quelconque, la vapeur, en poussant le feu au point nécessaire, le soulèverait ; bien entendu que le vase devrait être assez fort pour résister à cette augmentation de pression. Supposons C chargé d'un poids de 10 livres, la vapeur doit être poussée jusqu'à ce que sa force soit égale à 24 livres, ou à 10 livres de plus que les 14 livres de pression de l'atmosphère par chaque pouce carré ; et la force disponible qui en résultera sera égale à 24 livres de plus quand le poids de C, moins le frottement du piston, reviendra à la place d'où il avait été élevé ; de sorte que, dans ce cas, la pression sur les côtés intérieurs du vase, et qui tend à les faire éclater, sera égale à 10 livres, sur chaque pouce carré de la surface intérieure, les 14 autres livres étant balancées par la pression de l'atmosphère sur la surface extérieure, pression égale à 14 livres de la pression intérieure. De ceci il résulte évidemment que la force directe de la vapeur peut être indéfiniment augmentée, tandis que la force ou la pression atmosphérique est limitée à 14 ou 15 livres par pouce carré (6,356 à 6,380 kilogrammes par 645 millimètres carrés), suivant le plus ou le moins de densité de l'air.

Persuadés que cette explication suffira pour faire comprendre bien clairement, même aux personnes les moins familières avec les objets de cette nature, la manière dont opère la force expansive de la vapeur, nous allons entrer dans le détail des différentes combinaisons mécaniques qui ont été exécutées pour soumettre cette puissance à notre volonté ; mais nous devons, avant tout, prévenir que ce que nous avons nommé précédemment la force médiate de la vapeur sera désormais considéré comme la pression de l'atmosphère, ce que dans le fait elle est réellement. Nous n'avions adopté l'autre expression, dans l'explication préliminaire, qu'afin qu'on se pénétrât mieux de l'idée que la force expansive de la vapeur est en effet, dans cette machine, la seule source de la puissance.

Le premier appareil connu qui ait été construit dans le but

d'employer la vapeur comme puissance pour agir dans un vaisseau clos, avait été inventé par le capitaine Savary, qui, dans l'année 1698, obtint une patente pour son invention. La figure 2 représente cet appareil.

a est une chaudière fermée, placée sur un fourneau, et assez forte pour être en état de résister à une pression considérable; B, autre vaisseau fortement construit; *cc*, tuyau avec un robinet en *i*, au moyen duquel une communication peut être ouverte à volonté entre les vaisseaux *a* et B; *e*, tuyau qui descend dans un puits ou dans quelque autre réservoir d'eau; *ff*, autre tuyau allant de B à un réservoir placé au-dessus; *hh*, tuyau communiquant de B en *ff*, et ayant en K un robinet qui permet ou empêche la communication; *m*, soupape qui peut fermer le tuyau *e* quand elle est pressée par le haut, et l'ouvrir quand la pression vient d'en bas; *l*, soupape semblable ajustée au tuyau *ff*, et qui se ferme ou s'ouvre de même. Si l'on remplit d'eau la chaudière *a* jusqu'à la hauteur de la ligne ponctuée, et qu'on la chauffe au moyen du fourneau, la vapeur s'élèvera dans la chaudière, et passant dans le tuyau *cc*, elle ira remplir le vase, et montera ensuite par le tuyau *ff*, la soupape étant fermée par la force de la vapeur qui la presse: maintenant si l'on ferme le robinet *i*, et qu'on condense la vapeur dans le vase B, en versant de l'eau froide sur la surface, l'air atmosphérique pesant sur la soupape *m* la fermera, le vide sera fait dans le vase B, et l'eau du réservoir où se rend le tuyau *e* sera forcée, par la pression de l'air extérieur, d'entrer dans le vase B, de s'élever jusqu'à la ligne ponctuée qu'on suppose à environ 26 pieds (près de 8 mètres) au-dessus de l'eau du réservoir, ce qui est la longueur d'une colonne d'eau égale à la pression exercée par l'atmosphère, attendu que le vide ainsi formé ne saurait être parfait. Si l'on ouvre de nouveau le robinet, et que la vapeur ait la liberté de presser la surface de l'eau en B, la soupape se fermera, et l'eau montera dans le tuyau *ff* par la soupape *l*, et passera dans le réservoir supérieur; et si l'on referme le robinet *i*, et que l'on condense de nouveau la vapeur du vaisseau B, l'opération sera répétée, et le poids de l'eau dans le tuyau *ff* fermera la soupape

L, ce qui fera que le vase B sera de nouveau rempli par le tuyau *e*.

Telle était la construction et la manière d'opérer avec le premier appareil fait par le capitaine Savary; mais comme il trouva incommode de condenser la vapeur en jetant de l'eau froide sur la surface extérieure, il introduisit le tuyau *hh* dans le vase B, lequel, en ouvrant le robinet *k*, permit à une certaine quantité d'eau de sortir du tuyau *ff*, qui était toujours rempli après le premier coup de piston, et la condensation put se faire plus vite.

Les deux robinets-jauges ou robinets d'épreuve *o*, *q*, ont été également imaginés par le capitaine Savary, dans le but de s'assurer de l'élévation de l'eau dans la chaudière. Quand la surface de l'eau se trouve au-dessus de l'extrémité inférieure des robinets, si l'on ouvre ceux-ci, l'eau s'écoule par le haut; si elle est plus basse, il sort de la vapeur; mais quand l'eau se trouve au niveau convenable, c'est-à-dire quand la surface de l'eau est placée au milieu de l'espace entre les extrémités des robinets Qy et *no*, l'eau sort du premier, et la vapeur du second. Il était nécessaire de pouvoir connaître cet état; car si la surface de l'eau était plus élevée que le bas du robinet *o*, il ne resterait pas assez d'espace à la vapeur pour qu'elle pût suffire à une opération prolongée.

L'usage de cette machine était borné à élever de l'eau à des hauteurs peu considérables, parce qu'elle n'agissait qu'au moyen de la pression atmosphérique; on vit bientôt qu'elle ne pouvait pas être utilement employée dans les mines profondes. Cependant, si l'on veut avoir égard à l'état imparfait des connaissances en ce qui concernait la vapeur comme premier moteur, l'inventeur de cette machine paraîtra très-digne d'éloges pour cette preuve qu'il a donnée de son industrie: le plus grand défaut de sa méthode consiste dans la dépense trop considérable en vapeur, et, par une suite nécessaire, dans une consommation superflue de combustible, résultant de ce que la condensation s'opérait au moyen de l'eau froide qu'on mettait en contact avec la vapeur dans le vase B.

A l'époque où l'existence de cette machine fut dévoilée au pu-

blic ; la puissance étonnante de la vapeur, dont elle donnait la preuve si manifeste, commença à fixer l'attention de plusieurs hommes de génie, attention dont elle était si digne ; des disputes s'élevèrent sur la priorité de la découverte, les Anglais l'accordant au marquis de Worcester, et les Français à Papin.

Nous n'entrerons point dans le détail minutieux de ces disputes, nous bornant à décrire les grandes améliorations que les machines à vapeur ont successivement éprouvées en Angleterre, sans oublier pourtant de faire mention des améliorations accessoires qui sont dues aux étrangers. Au nombre de ces dernières, il faut compter la soupape de sûreté, invention qui, quoique très-simple en elle-même, est d'une si grande importance, qu'on doit lui attribuer l'adoption générale des machines à vapeur, et par suite les améliorations qu'on y a faites, et qui les ont portées au point de perfection où elles sont arrivées. Cette soupape fut exécutée par le docteur Papin, qui, dans le même temps que le capitaine Savary inventait sa machine, faisait des expériences sur la puissance de la vapeur employée à de hautes températures pour dissoudre les corps. C'est tout simplement une ouverture d'une dimension déterminée, d'un pouce carré (645 mill. carrés) par exemple, faite dans une chaudière fermée ou communiquant avec elle, garnie d'une soupape chargée extérieurement de poids jugés nécessaires et suffisans pour résister à la force de la vapeur, jusqu'à ce que cette force ait acquis le degré d'énergie qui a été calculé comme étant celui auquel la chaudière peut facilement résister sans avoir à craindre une explosion. Maintenant il est clair que jusqu'à ce que la pression de la vapeur dans l'intérieur de la chaudière se soit augmentée assez pour élever le poids dont la soupape est chargée, cette pression intérieure par pouce carré, qui tend à faire éclater la chaudière, ne s'élève pas au dessus de ce poids, de sorte que par ce moyen il est facile de calculer les probabilités d'un pareil accident.

L'idée qu'eut le docteur Papin de placer un flotteur en bois sur la surface de l'eau, était sans doute une amélioration à l'époque où il la mit à exécution ; elle est aujourd'hui sans im-

portance, mais il est assez probable que ce fut elle qui suggéra celle d'un piston entrant bien exactement et agissant dans un cylindre, nouveau pas, et le plus important qui fut fait à cette époque pour l'amélioration de ces machines. Un ouvrier en fer, nommé Newcomen, et un vitrier appelé Cauly, résidans à Dartmouth, dans le Devonshire, imaginèrent ce piston, et se contentant de partager avec Savary les profits de l'invention, ils obtinrent conjointement avec lui un brevet en l'année 1705.

Leur machine, appelée généralement machines de Newcomen, est la première à laquelle on ait adapté un piston fait pour opérer dans un cylindre; cette addition et celle du balancier firent prendre un nouveau caractère à la construction des machines à vapeur.

La figure 3 en représente une de cette espèce. A est une chaudière placée sur son fourneau; B, un cylindre creux dans lequel le piston *c* est placé et peut jouer à l'aise; *q*, robinet adapté au tuyau qui communique de la chaudière au bas du cylindre; S, soupape de sûreté chargée par un poids à l'extrémité du levier *rt*, ce levier pressant sur la pointe droite *s* qui termine la soupape; *dd*, tuyau conduisant du cylindre B au réservoir *i*, et garni d'un robinet *e* pour ouvrir ou fermer la communication; *ff*, autre tuyau conduisant du cylindre B au réservoir *h*, et garni dans le bas d'une soupape ouvrant en dehors afin de faire écouler l'eau de condensation qui peut s'accumuler dans le cylindre; elle sert aussi à évacuer l'air du cylindre à mesure qu'il se remplit de vapeur; LL, balancier porté sur le mur KK, et pouvant être mis en mouvement sur son centre U; *a* est la tige du piston fixée par une chaîne à l'extrémité courbe du balancier; *mm*, tige de la pompe fixée à l'autre extrémité du balancier d'une manière semblable à celle de la tige du piston; la pompe est placée dans le puits ou la fosse *x*, des poids *oo* sont placés sur sa tige et doivent pouvoir contre-balancer le piston et la tige de l'autre extrémité, et le tenir élevé au haut du cylindre; *pp*, tuyau qui communique de la pompe au puits pour entretenir le réservoir *i*.

Supposons le piston *c* placé en c^1 près du haut du cylindre, et

que le feu a été poussé dans le fourneau de manière à remplir la chaudière de vapeur ; si l'on ouvre le robinet *q*, cette vapeur passera dans le cylindre B et le remplira ; l'air qui s'y trouvait sera chassé par le tuyau *ff* et sortira par la soupape qui le termine et qu'on a nommée soupape reniflante, à cause de l'espèce de bruit que fait entendre l'air qui s'échappe. Si l'on ferme le robinet *q* et qu'on ouvre celui en *e*, l'eau se précipitera du réservoir *i* dans le cylindre, la vapeur sera aussitôt condensée et le vide se fera dans le cylindre, de sorte que la pression de l'atmosphère agissant sur le piston le forcera à s'abaisser jusqu'au bas du cylindre, tandis que l'autre extrémité du balancier L s'élèvera d'une quantité égale à celle dont la première se sera abaissée ; ce qui fera un coup de pompe. A présent, si l'on ferme le robinet *e* et que l'on ouvre celui en *q*, la vapeur pressera le dessous du piston *c*, et surmontant la pression de l'atmosphère, elle élèvera le piston jusqu'en *c'*, position qu'il occupait d'abord ; fermant ensuite *q* et ouvrant *e*, la même opération se trouvera répétée.

Cette machine remplit l'objet que l'on s'était proposé en la construisant, qui était d'éviter la nécessité d'employer de la vapeur d'une force supérieure à la pression de l'atmosphère, ce qui avait lieu avec la machine de Savary quand la hauteur à laquelle l'eau devait être élevée par le tuyau *ff* (*fig.* 2) était supérieur à 32 pieds environ. Dans la machine de Newcomen, le poids *o o* balance le piston *c*, et la force de la vapeur n'a jamais besoin d'être de plus de 14 livres environ par pouce carré ; l'introduction du balancier procure en même temps un mouvement applicable au jeu des pompes, et au moyen duquel l'eau peut être élevée à la hauteur que l'on désire.

Les robinets *q* et *e* s'ouvraient et se fermaient à la main ; mais un jeune homme, nommé Potter, auquel on avait confié ce travail, voulant épargner la peine et l'attention qu'il exigeait, eut l'ingénieuse idée d'attacher un cordon aux clefs des robinets et au balancier LL, de telle manière que le balancier par son mouvement ouvrait ou fermait les robinets à l'instant convenable. C'est cette idée qui a conduit à la construction actuelle de cette partie des machines.

La première amélioration importante qui fut faite ensuite à la machine à vapeur est due à M. Henri Beighton, de Newcastle; elle consiste dans cette partie qui sert à ouvrir et à fermer les soupapes, et dont nous donnerons plus tard la description. Il adopta aussi une pompe dont l'objet était de rendre à la chaudière autant d'eau qu'en consommait la production de la vapeur. Cette machine, connue sous le nom de pompe à feu de Beighton, a été fort en usage pendant près d'un demi-siècle, et ceux qui la construisaient paraissent s'être plus attachés à économiser le combustible qu'à imaginer de nouvelles améliorations pour la machine même.

A la fin, cependant, on commença à comprendre que si l'on parvenait à établir un mouvement de rotation, on ouvrirait ainsi un vaste champ à l'emploi de cette puissance dans les arts qui dépendent de la mécanique ; et l'on voit que l'attention des ingénieurs se porta d'une manière très active vers l'accomplissement d'un objet aussi important, objet qui fut rempli par l'emploi que M. Mathieu Washbrough, de Bristol, imagina de faire de la manivelle, et pour lequel il obtint une patente en 1778. Mais quoique cette application de la manivelle soit de beaucoup supérieure à tout ce qui a été imaginé d'ailleurs, ce qui est bien évident, puisqu'elle est aujourd'hui presque universellement adoptée, cependant on lui a préféré pendant quelque temps les roues introduites par MM. Watt et Boulton, et qu'ils nommaient le soleil et la planète.

Ces roues sont représentées figure 4 ; A marque l'extrémité du balancier à laquelle est attachée sur un centre mobile en F la bielle B, dite bielle de combinaison ; au bas de cette bielle est solidement fixée la roue C ; D est une roue à dents fixée sur l'axe du volant GGGG, et qui peut tourner avec lui. Quand le balancier A s'abaisse, la roue C change de position et se rend en C^1, ses dents agissent sur celles de la roue D, et lui font parcourir, ainsi qu'au volant auquel elle est attachée, une partie proportionnelle d'une révolution sur son axe. La manière dont la roue C est suspendue fait qu'elle tend toujours à presser la roue D, soit qu'elle s'élève, soit qu'elle s'abaisse; quand C arrive en

C^2, la roue D, par suite de la vitesse qu'elle a acquise à raison de sa combinaison avec le volant, la fait passer sous le centre de D, et le balancier, commençant immédiatement à s'élever, fonctionne au moyen de la roue C, de l'autre côté de D, et par son impulsion fait continuer à celle-ci son mouvement de rotation, tandis que C va de C^2 en C^4; et lorsque la roue C est parvenue en C, elle est entraînée au-dessus du centre de D, par la vitesse que son propre mouvement a fait prendre au volant.

La manivelle et le volant inventés par M. Mathieu Washbrough sont représentés fig. 5. A et B sont les mêmes parties que dans la figure 4; mais ici le bout inférieur de B est fixé à la manivelle C en C^1, et est susceptible de tourner autour du centre E; l'autre bout de la manivelle est fixé au volant DDDD, de manière que la manivelle et le volant peuvent tourner autour du centre E. Quand le balancier s'abaisse, il met en mouvement la manivelle et le volant auquel elle est attachée, et quand elle arrive en H la vitesse du volant l'entraîne au-dessous du centre E, et dès qu'elle l'a dépassé, le balancier commence à s'élever, et continue à communiquer le mouvement au volant.

La longueur de la bielle de combinaison B doit être telle que, lorsque le balancier A se trouve dans une position horizontale, la manivelle y soit également, et que quand l'extrémité de la manivelle est dans la position G, cette longueur, jointe à celle de la manivelle, permette à l'autre extrémité du balancier A de l'abaisser jusqu'à ce que le piston qui y est attaché soit parvenu au fond du cylindre; enfin la longueur de ces deux pièces et celle du cylindre doivent être telles, que quand la manivelle est dans la position H, le piston se trouve au sommet du cylindre. Cette méthode ne procure pas seulement un mouvement de rotation, elle détermine de plus la longueur de la course du piston avec un degré d'exactitude d'une grande importance; en effet avant qu'on l'eût adopté, il n'était pas rare de voir résulter des avaries du choc forcé du piston contre le fond ou contre le sommet du cylindre, et les roues, dites soleil et planète, n'étaient nullement propres à remédier à cet inconvénient.

M. Watt, natif de Glascow, s'occupant accidentellement de

la construction de la machine à vapeur, découvrit que l'eau placée dans un vaisseau clos, et échauffée à un degré beaucoup plus élevé que celui de l'ébullition, avait la propriété, lorsqu'on permettait à la vapeur de s'échapper, de revenir avec une grande rapidité au terme de l'ébullition. Cela lui donna l'idée que la quantité de vapeur qui sort d'un vaisseau quelconque est simplement proportionnelle à la quantité de chaleur appliquée, et que la seule manière de faire une économie sur le combustible consistait à en faire une sur la vapeur. M. Watt remarqua aussi le grand changement qui avait lieu dans la température du cylindre quand on faisait arriver l'eau d'injection pour condenser la vapeur ; il en conclut, qu'attendu que le refroidissement du cylindre subsistait après que la condensation était effectuée, il y avait nécessairement une très grande quantité de la vapeur nouvellement introduite condensée en pure perte. Il s'assura par des expériences que la quantité de vapeur ainsi perdue n'était pas moindre que trois fois ce que le cylindre en pouvait contenir, ou trois fois la quantité nécessaire pour produire l'effet désiré. Les moyens auxquels il eut recours, pour remédier à ce défaut, furent d'abord de remplacer le cylindre de métal par un cylindre en bois ; mais il fut obligé, après divers essais, d'y renoncer, à raison de la rudesse produite par l'humidité et les changemens de température ; il imagina ensuite d'entourer le cylindre avec du bois, et de remplir de poussière de charbon l'intervalle qui se trouvait entre le bois et le métal ; ce second moyen fut remplacé à son tour par l'introduction d'un second cylindre dans lequel le cylindre fonctionnant était contenu, et qui permettait à la vapeur de circuler autour de celui-ci, et de le maintenir à une température régulière. Ce second cylindre s'emploie maintenant avec avantage.

C'est en 1763 que M. Watt introduisit cet important perfectionnement, qui consiste à effectuer la condensation dans un vaisseau séparé, nommé le condenseur, qui ne communique au cylindre que par un tuyau.

A (*fig.* 11) est le bas du cylindre ; B, le condenseur ; C, le tuyau d'éduction ou tuyau de communication entre le cylindre et

le condenseur, et qui peut être ouvert ou fermé par le robinet *c*; et DD, une caisse pleine d'eau, dans laquelle le condenseur est plongé. Quand on ouvre le robinet *c*, la vapeur, par sa force élastique, se précipite dans le condenseur B et s'y condense; l'espace qu'elle a quitté permet à une nouvelle quantité de vapeur de passer dans le cylindre; et dès qu'on ouvre le robinet *c*, elle se rend en B où elle se condense de même. Cette condensation de la vapeur accumule nécessairement de l'eau en B, et réduit ainsi la capacité du condenseur. Pour évacuer cette eau, et aussi pour faire sortir l'air qui empêchait, jusqu'à un certain point, le vide d'être parfait, M. Watt imagina une petite pompe que fait jouer la machine, et qu'il nomma *la pompe à air*. Il jugea aussi qu'il était convenable de permettre à une petite quantité d'eau de la caisse ou réservoir DD de s'écouler par un robinet qui en réglerait la quantité d'après l'état de la température de l'eau en B, ou d'après le besoin d'une condensation plus ou moins rapide de la vapeur. Le réservoir dans lequel est placé le condenseur se nomme *le réservoir à l'eau froide*; il doit être constamment entretenu d'eau fraîche par une pompe communiquant à un puits ou à un réservoir; l'eau surabondante se perd par une gouttière dans quelque fossé. L'eau chaude tirée du condenseur par la pompe à air est conduite dans un autre réservoir appelé le *réservoir à l'eau chaude*.

Ces différentes parties sont représentées dans la figure 7, où elles sont arrangées de manière à les montrer commodément, sans égard à leur construction dans une machine quelconque, attendu que leur forme et leur position relative sont sans importance, et varient arbitrairement suivant l'idée des constructeurs, ou suivant que la commodité ou les circonstances peuvent l'exiger. A est le cylindre; B, le condenseur; C, la pompe à air; E, le réservoir d'eau froide; F, la pompe à eau froide pour entretenir ce réservoir; SS, le tuyau à vapeur qui sort de la chaudière; H, le tuyau d'éduction du cylindre au condenseur; OO, le réservoir à l'eau chaude; N, le robinet d'injection qui permet à un petit filet d'eau de s'écouler en B; P, la pompe à l'eau chaude qui oblige une quantité suffisante d'eau à entrer du ré-

servoir de l'eau chaude dans le tuyau *q* pour entretenir la chaudière ; *tttt* sont des tiges de pompe fixées au balancier, et que son mouvement fait jouer; *g* est un tuyau d'aspiration ; *m*, une soupape. Le tuyau I et la soupape V qui s'ouvre en dessus remplissent l'objet de permettre à la vapeur de traverser et de chasser l'air du condenseur, et ensuite, par sa propre condensation, de faire le vide quand le balancier s'élève.

Une communication existe au moyen d'un tuyau entre le condenseur et la partie supérieure d'un tube dressé dans un bassin de mercure. L'élévation du mercure dans le tube fait connaître si le vide est parfait dans le condenseur, en indiquant la hauteur à laquelle il est soutenu par la pression de l'atmosphère. Quand le vide est parfait, le mercure se soutient entre 28 et 31 pouces (0,71 et 0,78 mètres).

La seule différence entre la manière dont cette machine fonctionne, et celle dont se fait le travail des machines décrites précédemment consiste en ce que le tuyau HH, au lieu de servir de tuyau d'injection pour faire arriver l'eau froide au cylindre, ne fait que conduire la vapeur du cylindre au condenseur B, de sorte que lorsque la condensation doit se faire, le robinet *h* s'ouvre pour laisser passer la vapeur du cylindre en B où elle doit être condensée, tandis que le jeu continuel de la pompe C entretient le vide en B, en entraînant l'air et l'eau de condensation. La pompe à eau froide F fournit abondamment à l'entretien du réservoir EE, et l'eau surabondante va se perdre en W, entretenant ainsi un abaissement de température suffisant pour que la condensation puisse se faire en B.

Telle était pourtant l'importance de ce changement dans le mode de construction, qu'il en résulta une économie de la moitié du combustible que les machines faites d'après les anciennes méthodes étaient obligées de consumer. Quoi qu'il en soit, le perfectionnement n'était pas encore entier ; il fallait qu'il y eût toujours de l'eau sur la face supérieure du piston pour qu'il fût imperméable à l'air, et comme alors le piston, en s'abaissant, refroidissait considérablement le cylindre, il en résultait nécessairement une perte, ce qu'il est facile de concevoir d'après

ce qne nous avons dit en décrivant le premier mode d'injection de l'eau froide; Watt s'occupa sérieusement de cet objet, et il réussit éventuellement à remédier à cet inconvénient.

La manière de construire la machine à vapeur qui fut ensuite adoptée, et qui n'offre d'autre perfectionnement que dans le cylindre, n'exige pas autre chose que la description de celui-ci pour être bien comprise. La machine dans ce nouvel état est celle qu'on nomme maintenant machine à simple effet.

M. Watt ayant reconnu, ainsi qu'on l'a dit, les inconvéniens du cylindre ouvert, conçut l'idée d'en fermer le haut, et de faire fonctionner la tige du piston, en traversant une espèce de collet fermé garni d'étoupes et de suif, et d'employer de l'huile ou de la graisse au lieu d'eau pour rendre le piston imperméable à l'air; enfin il imagina d'employer, pour le faire descendre, au lieu de la pression de l'atmosphère, de la vapeur d'une force équivalente à cette pression.

On voit, dans la figure 8, le cylindre en A; B est le piston; CC, le collet ou la boîte garnie d'étoupes imbibées de suif, et dont le couvercle est fermement retenu par deux écrous, de manière à former une jonction impénétrable à l'air autour de la tige du piston. Cette tige, étant tournée bien égale et polie, a la facilité de fonctionner en montant et en descendant au travers de la jonction impénétrable à l'air. D représente le tuyau qui vient de la chaudière; K, le tuyau d'éduction qui conduit au condenseur; H et I, deux soupapes sur la tige L, qui traversent des boîtes à étoupes ou des joints imperméables à l'air en *mn*. Quand la tige L s'élève ou s'abaisse, les soupapes H et I ouvrent ou ferment les passages D et K auxquelles elles répondent respectivement. *g* est une soupape qui ouvre entre le haut du cylindre et le fond une communication par le tuyau PE, et ensuite en *o*. Sa queue est creuse, et fonctionne dans une espèce de collet en N, imperméable à l'air; elle est traversée par la tige L, également imperméable, de telle manière que cette tige et ses soupapes peuvent agir indépendamment de la soupape *g*, et que la soupape *g* peut agir indépendamment d'elles. Si les soupapes sont placées comme on les voit dans la

figure, I et H ouvertes, et *g* fermée, et qu'on permette à la vapeur d'arriver de la chaudière en D, elle traversera H, et entrera dans le haut du cylindre en P, et sa force élastique forcera le piston B à s'abaisser, tandis que la partie basse du cylindre sera ouverte vers le condenseur en *o* et en K. Quand le piston est descendu en B', la tige L doit être abaissée, les soupapes H et I doivent se fermer, et la soupape *g* s'ouvrir afin que la force élastique de la vapeur puisse la faire passer par PE, traverser la soupape *g*, et agir sous la face inférieure du piston de la même manière que sur la face supérieure; le piston, se trouvant en conséquence dans un état d'équilibre relativement à la pression, sera reconduit à sa première position par les contre-poids qui agissent à l'autre extrémité du balancier, et la vapeur passera de dessus en dessous du piston. Quand il a repris sa place, les soupapes peuvent aussi reprendre leur première position, comme elle est indiquée dans la figure, et celle en I, étant ouverte, permet à la vapeur qui se trouve sous le piston de se rendre par OK dans le condenseur, pendant que de nouvelle vapeur arrive, par le tuyau D, sur la face supérieure du piston avec une force égale à la pression de l'atmosphère, et produit un effet exactement pareil à celui qu'on obtiendrait avec une machine fonctionnant au moyen de la pression atmosphérique.

Dans la machine qu'on vient de décrire, le balancier était abaissé par la pression de la vapeur sur le haut du piston, et quand la vapeur était arrivé dans le condenseur, il était relevé par les contre-poids placés à son autre bout; il est évident d'après cela que le mouvement d'une machine ainsi construite doit avoir quelque irrégularité; car tandis que le piston descend, la vapeur doit agir sur lui avec une force capable d'élever les contre-poids, et d'exécuter en même temps les fonctions qu'elle à remplir; mais quand le piston s'élève, la descente des contre-poids est la seule quantité de force que fournisse la machine, et il en faut déduire le frottement et le poids du piston. Cette espèce de machine, lorsqu'on a besoin d'une force continue et uniforme, n'est donc pas aussi avantageuse

que celles où l'élévation et l'abaissement du piston s'exécutent l'un et l'autre par les moyens pareils, et avec la même quantité de force. M. Watt a atteint ce dernier but dans la construction de la machine à double effet dont nous allons opposer la description à celle de la machine dont nous venons de nous occuper, et qui maintenant n'est guère employée à d'autre usage qu'à pomper de l'eau.

La machine à double effet est construite de manière que, tandis que la vapeur presse sur une des faces du piston, le cylindre de l'autre côté est toujours ouvert au condenseur, de sorte que le vide existe du côté opposé à celui sur lequel la pression s'exerce : cet effet est produit par différentes méthodes de distribution des tuyaux, de soupapes et des robinets. La plus simple de ces constructions est celle où l'on emploie le robinet dit à quatre fins.

Dans la figure 9, A est le cylindre; B, le piston; C, le tuyau de communication avec la chaudière; *fm*, communication avec le condenseur; IK et H*g* communiquent au haut et au fond du cylindre; C' et D sont deux passages dans la clef du robinet (cette partie est ombrée pour qu'on puisse mieux la distinguer), qui se tourne au moyen d'une poignée *m'*. Lorsque le robinet se trouve dans la position où la figure le représente, la vapeur arrivant de C entre en D, et se rend, en suivant la direction H*g*, au-dessous du piston; une communication directe entre le dessus du piston et le condenseur se trouve en même temps ouverte par KIC'FM. Quand on tourne le robinet dans la position qu'indique la figure 10, les deux communications trouvent renversées par la disposition différente de leurs ouvertures. L'ouverture *e*, dans la clef, fait alors communiquer le tuyau à vapeur C avec I qui se rend au haut du cylindre; et l'ouverture D établit une communication de H qui conduit de la partie inférieure du cylindre en *m n* un tuyau d'éduction se rendant au condenseur; ce robinet accomplit ainsi parfaitement, par son jeu, les différens changemens de communication, de manière que la vapeur agit toujours sur une des faces du piston lorsque le vide se fait du côté de la face

opposée. L'effet produit sur le piston est toujours égal, soit qu'il tende à l'élever, soit qu'il tende à l'abaisser; et la force est beaucoup plus régulière, et peut être plus commodément appliquée à un mouvement de rotation.

La pression de l'atmosphère n'est pas employée dans les machines à simple et à double effet; mais la force directe de la vapeur qui, dans les anciennes machines, servait à chasser l'air, et ensuite, par sa propre condensation, à faire le vide, est ici celle qu'on emploie la première; et c'est le vide qui se fait par suite de sa condensation, qui favorise l'action de la nouvelle vapeur qui arrive; par conséquent la machine à simple effet n'a pas procuré une puissance plus grande que celle qui agissait par la pression atmosphérique, seulement dans la proportion de la vapeur employée, il y a une économie qui résulte de ce que le cylindre reste toujours chaud; et la machine à double effet n'est qu'un moyen d'employer la vapeur avec plus de régularité et de suite, qui donne, il est vrai, une puissance double de celle de la machine à simple effet, mais qui exige une quantité de vapeur double de celle que consomme celle-ci.

On emploie, suivant que les circonstances le demandent, d'autres moyens pour obtenir ce changement de communication; et le double effet qui en résulte. Celui que nous venons de décrire, et qui est appelé le robinet à quatre fins, n'a pas été trouvé convenable pour les grandes machines, par la raison que les clefs d'une dimension suffisante pour que les ouvertures puissent laisser passer assez de vapeur, éprouvaient un tel frottement dans leur collet, qu'il fallait consommer beaucoup de force pour les tourner; on a donc adopté, pour les machines de dimensions considérables, un autre système consistant en soupapes qui s'ouvrent ou se ferment aux instans convenables, au moyen de leviers.

L'arrangement intérieur d'un système de cette espèce est représenté dans la figure 6. C est un tuyau qui vient de la chaudière d'où il amène la vapeur; DK, autre tuyau qui conduit au condenseur L; *op* et *mn*, deux boîtes divisées l'une et l'au-

tre en trois compartimens ; dans quatre de ces compartimens, deux de la boîte du haut, et deux de la boîte du bas, sont des soupapes *e*, *f*, *g* et *h* faites pour s'ouvrir par en haut. Dans le compartiment qui se trouve au milieu de chaque boîte est une communication en *a* et en *b* qui répond au haut et au bas du cylindre. La vapeur se rend par le tuyau C dans le compartiment supérieur de la boîte *op*, et, au moyen du tuyau *i*, la traverse et descend dans le compartiment supérieur de la boîte *mn* ; KD, est un tuyau qui ouvre une communication entre chacun des compartimens inférieurs des deux boîtes, et le condenseur L.

Si l'on ouvre la soupape *h*, il y aura une communication entre le cylindre et le condenseur par l'ouverture *b*, et le tuyau K ; et si en même temps on ouvre la soupape *e*, la vapeur entrera de C dans le compartiment du milieu de la boîte *op*, et se rendra par l'ouverture *a* dans la partie supérieure de cylindre ; par conséquent la vapeur arrivera dans la partie supérieure du cylindre, à l'instant où sa partie inférieure sera en communication avec le condenseur, ce qui forcera le piston à s'abaisser. Si ces soupapes se ferment, et que celles *g* et *f* s'ouvrent, la vapeur aura accès par C*i*, par la soupape *g*, et par l'ouverture *b* dans la partie inférieure du cylindre, tandis qu'il y aura communication entre le haut du cylindre et le condenseur par l'ouverture *a*, la soupape *f*, et le tuyau KD, de façon que le piston sera forcé de s'élever.

Ce mode d'opérer les changemens de communication, quoique bien moins simple que le robinet à quatre fins, a sur celui-ci un avantage qui lui donne une supériorité incontestable. En effet, le jeu de chaque soupape étant indépendant de celui des autres, la vapeur peut être arrêtée, et la communication avec le condenseur peut être fermée, si on le désire, à des temps différens, de sorte qu'on peut ne faire agir la vapeur que pendant la moitié de la durée d'un coup de piston ; ce qui économise de la vapeur, ainsi que l'a reconnu M. Watt. Indépendamment de cet avantage qu'on peut, si on le désire, se procurer dans d'autres machines par des moyens simples, le système des sou-

papes, comparé aux robinets, est, à raison de sa légèreté, bien supérieur quand on l'adapte aux grandes machines.

Dans les petites où ces avantages n'ont pas la même importance, il se trouvent plus que balancés par la simplicité qu'offrent d'autres méthodes.

La première de ces méthodes dont nous ferons mention est celle qu'a inventé M. Murray de Leeds, et qui est représentée figure 12. On voit, dans cette figure, une coupe de cet appareil, distingué par le nom de soupape à tiroir. A est le tuyau à vapeur qui vient de la chaudière ; BBBB, caisse fermée dans laquelle une autre caisse CC est placée, et peut glisser de haut en bas, et de bas en haut, au moyen d'une tige DD qui traverse en E une boîte imperméable à la vapeur. GG est un passage qui va de la caisse BBBB à la partie supérieure du cylindre ; HH, autre passage qui va à la partie inférieure du cylindre, GI, troisième conduit qui va au condenseur. Maintenant quand la caisse CC est placée dans la position où la montre la figure, il est clair que la vapeur se rend au-dessus du piston dans le cylindre, et que la communication existe avec le condenseur par HH et GI. Si l'on élevait CC, la communication serait intervertie, c'est-à-dire que GG ferait communiquer par GI le haut du cylindre avec le condenseur, et HH conduirait la vapeur dans la partie inférieure du cylindre. C'est le mouvement de CC de bas en haut, et de haut en bas, qui produit l'effet alternatif du piston.

MM. Watt et Boulton ont imaginé un autre moyen très-ingénieux et très-commode pour distribuer la vapeur dans les petites machines : c'est celui des soupapes en D, ainsi nommées d'après la figure qu'elles présentent quand on les voit d'en haut.

AB et CD (*fig.* 13) sont deux soupapes en D qui peuvent se mouvoir de haut en bas, et de bas en haut, au moyen de la tringle E ; leur surface en A et C sont faites de manière à s'adapter et à fermer hermétiquement l'intérieur de la boîte, et leur dos en B et D est semi-circulaire, ainsi qu'on le voit en D^1, afin qu'on puisse le garnir d'étoupes comme le piston. G et H sont des communications avec le haut et le bas du cylindre ;

I est le conduit de la vapeur qui vient de la chaudière. Dans quelques machines ce tuyau aboutit au cylindre qui enveloppe celui du piston ; K est le tuyau d'éduction qui conduit la vapeur au condenseur.

Maintenant si l'on fait mouvoir la tringle E par en haut, et jusqu'à ce que la surface inférieure de AB soit au-dessus de l'ouverture H, la surface inférieure de CD se trouvera au-dessus de l'ouverture G ; en conséquence, la vapeur se rendra de I dans le cylindre en H, et la vapeur passera du cylindre, par G et NK, dans le condenseur. Mais si la surface supérieure de AB est au-dessous de H, CD sera au-dessous de G, et la vapeur, passant par l'ouverture O, descendra dans un tuyau derrière MK, traversant P, et aura, par le moyen de G, accès au fond du cylindre, et en même temps une communication sera ouverte par MK, et traversant H, entre le haut du cylindre et le condenseur. La tringle E, par des joints imperméables à la vapeur, passe en haut et en bas dans des boîtes.

La figure 14 représente une autre manière de construire les soupapes sur ce principe ; leur surface extérieure est plate, et pour les garnir, leurs surfaces et leurs côtés sont en cuivre, et adaptés à des feuilles de même matière, qui peuvent se visser contre les soupapes quand elles servent. Les parties qui glissent ou qui sont mobiles sont indiquées par des ombres. La position qu'elles occupent dans la figure permet à la vapeur de passer de I en H, et à la condensation de s'opérer de G en K par N ; mais si l'on baisse les parties en les faisant glisser jusqu'à ce que l'ouverture C soit en face de G, l'ouverture du haut sera au-dessous de H, et la vapeur passera par P dans le cylindre au moyen de G, et l'épuisement aura lieu de H en K par M.

La figure 15 est une combinaison de ce qu'on nomme des soupapes concentriques ; leur distribution est tout-à-fait semblable à celles que nous venons d'expliquer. Les tringles CC des soupapes inférieures dans les boîtes du haut et du bas passent dans les tringles des soupapes supérieures qui sont des tuyaux. Cette construction des soupapes a été inventée par M. Murray. On peut les faire jouer de beaucoup de manières ; mais celle qui est le

plus généralement employée est représentée dans la figure où l'on voit les tringles *de* attachées à des leviers qui se meuvent sur leurs centres GGGG, et agissent sur les soupapes ; de sorte que la tringle *d*, étant tirée en bas, fait élever la tringle solide ou la tringle de la soupape inférieure de la boîte d'en bas, qui s'ouvre dans le condenseur ; et la tringle creuse fait élever la soupape supérieure de la boîte de dessus, qui laisse arriver la vapeur dans le haut du cylindre, tandis que la tringle *e* agit sur les deux autres, et change le cours de la vapeur et de la condensation, ainsi qu'on l'a déjà vu.

Convaincu que nous avons suffisamment expliqué les diverses manières de diriger la force immédiate de la vapeur, nous allons maintenant nous occuper de la construction du piston. Une coupe de celui qu'on emploie le plus ordinairement dans les machines à condensation est représentée dans la figure 16. La surface inférieure du piston est fixée à la tige *dd*, et la face supérieure peut être relevée sur la tige *d*. De l'étoupe imbibée de suif, et qu'on nomme la garniture, est introduite dans l'interstice en CE, et lorsque le dessus DD du piston est assujetti au moyen des vis EE, cette garniture est forcée de se jeter en dehors contre les côtés du cylindre, de manière à le fermer hermétiquement. Comme elle s'use en frottant contre le cylindre, on en fait sortir de nouvelle en serrant les vis davantage, et quand elle est tout-à-fait usée, le dessus DD doit être relevé, et la garniture renouvelée.

Cette construction du piston convient parfaitement pour les machines à condensation ; mais dans celles à haute pression, l'étoupe se détruit si rapidement par la chaleur et par le frottement, qu'on a trouvé plus avantageux d'employer des pistons entièrement faits en métal.

Le haut d'un piston de métal est représenté dans la figure 17 : AAAA est un anneau de cuivre divisé en quatre parties égales non liées ensemble, et qui repose sur la partie BB attachée à la tige *dd*, comme on le voit fig. 18 ; les portions de l'anneau sont chassées en dehors contre les côtés du cylindre, par des ressorts d'une forme convenable, et appuyés sur la tige du piston D. A.

(*fig* 18) représente une vue de profil d'un anneau semblable et semblablement divisé. Ses portions sont placées sur l'anneau décrit précédemment, de manière que les divisions tombent sur les centres des quatre autres morceaux, et sont chassées de la même manière contre les côtés du cylindre par des ressorts, et le dessus CC est placé pour recevoir le tout. Les côtés du dessus et du dessous de la plaque et des anneaux sont unis avec le plus grand soin afin d'être impénétrables à la vapeur quand ils sont rapprochés. Cette forme de piston, quoique employée pendant long-temps avec avantage dans certaines circonstances, est pourtant, à tout prendre, assez défectueuse, attendu que les anneaux près des interstices entre les segmens peuvent s'ouvrir, et laisser pénétrer la vapeur dans l'intérieur où sont les ressorts, et de là, par d'autres intervalles semblables, de l'autre côté du piston.

On voit (*fig.* 19) un piston métallique d'une meilleure construction, et qui consiste en six morceaux de cuivre de la forme représentée dans la figure par ABCDEF. A, B, C sont circulaires, et faits pour aller à l'intérieur du cylindre contre lequel ils sont chassés par les coins D, E, F, qui ont des ressorts derrière eux. Quand A, B, C sont assez usés pour se diviser aux angles, les coins se portent en avant contre le cylindre, tenant l'espace toujours plein. Ces pistons ont été employés dans quelques cas, pendant plusieurs années de suite, sans avoir besoin de réparations.

Après avoir bien expliqué la construction du cylindre ou du siége du mouvement, ainsi que les moyens de distribuer la puissance effective de manière à produire une action de deux côtés opposés en ligne droite, nous allons faire voir comment cette action est transmise et sa continuité entretenue.

Le mouvement d'un robinet à quatre fins peut s'effectuer au moyen d'une tige perpendiculaire attachée au balancier d'une machine, semblable à celle qu'on voit figure 20. O, P sont deux clous ou chevilles placées à une distance telle l'une de l'autre, que celle de dessus O fait passer la poignée N dans la situation N^1 au même instant que le piston arrive dans la partie la plus

basse du cylindre, et la fiche P est placée de façon qu'elle reconduit la poignée à sa première situation, au moment où le piston va changer de direction. Mais cet appareil est rarement employé dans les machines qui ont un mouvement de rotation ; et quand on n'emploie pas un mouvement de rotation, les machines sont presque toujours à simple effet, et ne servent guères que pour pomper, opération dans laquelle la force n'a besoin de s'exercer que dans le temps où le piston descend.

Dans les machines qui servent aux filatures, et où le mouvement de rotation existe, les soupapes à tige ou à tiroir, et tout autre appareil propre à remplir le même objet, reçoivent leur action au moyen d'une bielle, qui, tenant à l'axe du volant, fonctionne par un mouvement excentrique.

Dans la figure 21, le petit cercle est supposé être une coupe de l'arbre du volant, et B une pièce circulaire autour de laquelle les pièces circulaires CC sont attachées, en sorte que B peut tourner sur elles, de manière que lorsque l'arbre A, en tournant, amènera B dans la situation du cercle ponctué B, il est évident qu'il aura forcé la bielle de parcourir, dans une position horizontale, la distance du centre A à B^1, et quand, dans le cours de sa révolution, il aura amené B dans la position B^2, il lui aura fait parcourir une distance semblable dans une direction contraire, et par conséquent la totalité du mouvement horizontal ainsi communiqué à la bielle DEE sera égale à la distance de B^1 en B^2. Le mouvement horizontal est changé en mouvement vertical par la manivelle *hgi*, élevant et abaissant la tige K, sur laquelle la boîte à tiroir ou la soupape en D est fixée.

La manière de faire mouvoir les tiges des soupapes concentriques est représentée dans la figure 15*. E est la verge du mouvement excentrique qui, par son action en avant et en arrière, fait mouvoir les bouts d'un T fixé sur le centre G, et les fait agir alternativement de haut en bas et de bas en haut, et ouvrir deux des soupapes, et fermer les deux autres comme on l'a déjà vu.

La figure 23 représente un mode applicable aux grandes ma-

chines, pour effectuer le mouvement des soupapes en D, ou à tiroir, au moyen d'un excentrique. AB est une plaque en fer susceptible de vibrer sur son centre H. F est un triangle qui vient de l'excentrique et fait mouvoir sur un rouleau le poids C, au-dessus de AB. Les courroies DD^1 sont mues sur deux chevilles, et les arrêts MN les empêchent de tomber en avant. La tige ou verge des soupapes qu'on voit en *e* est liée à l'arbre par le levier PH, fixé au centre H de l'arbre. Les deux arrêts I et G soutiennent AB dans les deux positions indiquées : l'un par le dessus et l'autre par les lignes ponctuées. Quand la verge F se meut, elle entraîne C vers A par le mouvement excentrique, et C agissant sur elle élève la courroie D, et permet au bout A de AB de tomber, pendant que l'autre bout B en s'élevant s'arrête de lui-même en D^1, comme les lignes ponctuées qui indiquent AB le font voir. Par ce mouvement, HP, sur le même centre H, s'abaisse, entraînant avec lui la tringle E, attachée aux soupapes à tiroir, et le mouvement de C changeant au même instant et se portant vers F, agit sur l'autre arrêt D^1 et remet les soupapes dans leur première position. Comme le balancier de toutes les machines se meut sur un centre, il en résulte que chacune de ses extrémités décrit des portions de cercle, et comme il faut que la tige du piston fonctionne en ligne droite, il en résulte qu'elle ne peut pas être immédiatement attachée au bout du balancier. Dans les machines à simple effet construites suivant l'ancien système, où les deux bouts étaient tirés en avant ou en bas, l'un par le poids de la tige de la pompe, l'autre par le coup qui faisait descendre le piston, une chaîne était attachée à la partie supérieure de la courbe aux extrémités du balancier, et aux tiges du piston et de la pompe, comme on le voit dans la figure 3, et remplissait l'objet qu'on se proposait ; mais dans les machines à double effet où la tige du piston est poussée par en haut de la même manière qu'elle est tirée par en bas, une autre manière de conserver le mouvement rectiligne du piston devenait nécessaire. La plus parfaite qu'on ait imaginé jusqu'à présent consiste dans le mouvement parallèle dont on concevra le principe en se reportant à la figure 24.

Supposons que AB représente la moitié d'un balancier qui se meut sur son centre en A, l'autre moitié parcourra l'arc CC', et entraînera tout ce qu'on y aura attaché dans le sens de cet arc; supposons maintenant une verge GH de même longueur que AB, et se balançant sur son centre G, le point I de la pièce de liaison LH sera mu par en haut et par en bas dans une direction perpendiculaire par les vibrations de AB et de GH. Car autant la courbe du rayon AB tendra à le tirer vers A, autant la courbe du rayon HG tendra à le tirer vers G, et les deux mouvemens se compensant, forceront I de s'élever et de s'abaisser en ligne perpendiculaire.

Un mode plus simple, et qui réussit très-bien pour les machines peu considérables, est représenté figure 25. Une pièce attachée au bout du balancier porte deux rouleaux, un de chaque côté, qui pressent sur les deux côtés des barres DDDD, dites les guides, et conduit le piston dans une direction perpendiculaire.

Les proportions de toutes les machines à vapeur sont calculées pour faire un travail déterminé, et donner un certain nombre de coups de piston par minute, qui, étant évalué d'après le nombre de pieds que parcourt le piston dans sa course de haut en bas et de bas en haut, a été fixé d'un consentement général de 200 à 220 pieds (60 à 66 mètres) par minute.

Il est évident que pour obtenir cette régularité de mouvement, il faut obtenir une égale régularité dans la quantité de la force qui doit le produire; ou en d'autres termes, qu'une quantité régulière de force élastique doit être employée à chaque coup de piston. Cela n'est pas sans difficulté, et dépend beaucoup du soin qu'on a à entretenir le feu qui produit la vapeur, de manière à donner toujours la même chaleur. On ne doit en confier la conduite qu'à un ouvrier qui s'y entende bien. Cependant on a imaginé certains moyens qui sont d'un grand secours pour maintenir la régularité du travail, et qui l'entretiennent d'une manière suffisante toutes les fois qu'on n'a pas besoin d'une très grande précision. On a nommé modérateur ou régulateur (*governor*) cette partie de l'appareil d'une machine à vapeur : elle n'est applicable

qu'à celles qui ont un mouvement de rotation, et dont l'action dépend du principe de la force centrifuge.

La manière d'employer le modérateur consiste à le lier par des leviers à une soupape à gorge, comme on le voit figure 26. AB représente une section du tuyau qui conduit la vapeur. Ce tuyau est garni d'une petite plaque circulaire en fer qu'on peut tourner de manière à être étendue dans le sens de la longueur du tuyau, ou à être relevée pour intercepter la communication.

Le modérateur se place sur une partie quelconque de la machine, partout où cela peut être commode, sur une branche droite. Il est dirigé par un lien ou par un rouage qui tient à l'arbre du volant. Quand le volant augmente ou diminue de vitesse, il communique celle qu'il a au modérateur, et fait écarter les balles ou les rapproche l'une de l'autre; et le levier fixé au collet du modérateur tourne la poignée C de la soupape, ce qui règle, comme elle doit l'être, la quantité de vapeur, et produit la régularité du mouvement.

Dans les machines à simple effet qui ne donnent pas un mouvement de rotation, cette espèce d'indicateur ne peut pas être employé, il ne serait même pas bien convenable à l'espèce de régularité qu'elles exigent; car, comme elles n'agissent que dans un sens, et que la vapeur est entièrement arrêtée à la fin de chaque coup de piston, c'est plutôt la régularité dans la quantité de force qui doit être exercée par chaque intervalle, que l'on cherche, qu'un entretien continu et uniforme de vapeur.

Cette autre sorte de régularité est très nécessaire dans les machines qui fournissent de l'eau aux villes, attendu que quand il faut en faire arriver dans des quartiers différens, la situation et l'inégalité d'étendue occasionnent de grandes différences dans les charges qui pèsent sur la machine. Dans les machines qui servent à cet usage, il y a deux pièces de bois nommées pièces à ressort, placées en travers de chaque extrémité du balancier, qui, lorsque la charge devient plus légère, et que le mouvement du balancier est trop prolongé, frappent, en descendant, le plancher supérieur du local où est établie la machine, et font sonner une cloche qui avertit l'ouvrier que la vapeur doit être

arrêtée plus vite, ou que la partie supérieure de la tige qui tourne le robinet doit s'abaisser. Dans les machines nouvellement construites, les pièces à ressort sont disposées de manière à frapper un levier qui arrête tout-à-fait la vapeur, ou qui ouvre un robinet par lequel elle passe dans le cylindre ; dans l'un et l'autre cas, le mouvement de la machine est interrompu.

Le mouvement régulier de la tige qui ouvre ou ferme le robinet s'obtient en conduisant par un tuyau de l'eau du vaisseau à air dans un petit cylindre garni d'un piston qui peut fonctionner. L'eau du vaisseau à air se porte contre la face de dessous du piston et l'élève ainsi que la tige, et dans ce mouvement la tige qui ouvre ou ferme le robinet se trouve élevée ou abaissée suivant que cela est nécessaire. Ce moyen, soit par défaut de construction, soit autrement, a le plus souvent été trouvé insuffisant, lorsque la charge de la machine était sujette à des changemens très-prompts et très-considérables.

Les machines dont on fait maintenant usage sont en général construites ainsi que nous venons de l'expliquer, mais on a appliqué aux chaudières différentes inventions ingénieuses qui méritent que nous les fassions connaître.

La figure 27 représente une chaudière montée avec tout l'attirail qu'on y emploie généralement aujourd'hui, et placée sur un fourneau d'une construction convenable. On y voit une coupe d'une portion de fourneau. BBBB est la chaudière dont nous avons déjà expliqué la manière d'opérer ; C, jauge à vapeur qu'on voit en grand (*fig.* 28). Son objet est de faire connaître la pression qui s'exerce dans la chaudière. Elle consiste en un tube de fer courbé, dont un bout A communique avec la chaudière, et l'autre bout B est ouvert à l'air. Ce tube est rempli jusques en C et en D avec du mercure, et porte dans sa branche B une baguette mince E qui flotte perpendiculairement au-dessus du mercure en D ; à la branche B est attachée une petite planche de cuivre divisée en pouces, et dont les chiffres augmentent en montant, pour servir d'échelle. La longueur de la baguette est calculée de manière que le haut soit de niveau avec le premier chiffre de l'échelle.

Si la vapeur de la chaudière presse le mercure en C et élève d'un pouce (25,4 millimètres) la surface D (ce qu'indiquera le haut de la baguette qui répondra alors au nombre 1 de l'échelle), on sera assuré qu'une demi-livre (0,227 kilogrammes) par pouce carré (645 millim. carrés), presse contre la surface intérieure de la chaudière, et tend à la faire éclater; car si le diamètre du tuyau était exactement d'un pouce, la pression de la vapeur ferait équilibre à un pouce cube de mercure, qu'on sait peser à peu près une demi-livre; ainsi l'on doit compter une livre pour chaque fois deux pouces d'élévation : et comme les machines à condenseur fonctionnent rarement avec une pression de plus de trois ou quatre livres par pouce, il n'est pas nécessaire que l'échelle ait plus de huit ou neuf pouces de longueur.

C^1 est une forte plaque de fer qui recouvre un trou circulaire ou ovale d'environ 18 pouces de diamètre par lequel un homme peut entrer dans la chaudière pour la nettoyer ou la visiter.

D est le tuyau à vapeur qui renferme la soupape à gorge E, à laquelle tient la tringle du modérateur; FF sont des robinets d'épreuve. II est un tuyau alimentaire qui entre dans la chaudière et descend presque au fond. HHHH, réservoir au haut du tuyau alimentaire; *ii*, flotteur fait en pierre, et tenu en équilibre de manière à rester toujours à la surface de l'eau dans la chaudière; l'eau, en s'élevant ou en s'abaissant, fait agir le flotteur sur le levier KK^1 au moyen du fil d'archal I^3 qui traverse un joint impénétrable en I^4, et, quand l'eau baisse, tire le bout K, qui fait élever K^1, et la soupape M qui y est attachée. Par ce moyen, quand il faut de nouvelle eau pour l'entretien de la chaudière, la soupape M s'ouvre et laisse entrer celle du réservoir HHHH.

Le tuyau alimentaire est fait pour contenir une colonne d'eau équivalente à la pression qui s'exerce dans la chaudière, et que nous avons dit ne devoir pas surpasser le poids de huit pouces de mercure. Comme un pouce de mercure répond à environ treize pouces et demi d'eau, le tuyau doit être élevé d'environ neuf pieds (2,7 mètres) au-dessus de la surface de l'eau quand la chaudière est pleine, et l'eau dans le tuyau alimentaire doit avoir

environ trois pieds d'élévation quand la pression est de six pouces de mercure, ou de trois livres par pouce carré de surface.

Le tuyau alimentaire contient encore un poids de fer O, fait comme un sceau, et suspendu à une chaîne qui passe sur deux poulies PP ; à l'autre bout de la chaîne est attachée une plaque de fer qu'on nomme le registre. Quand la vapeur dans la chaudière est poussée avec trop de force, elle fait monter l'eau dans le tuyau alimentaire, et élève le sceau O ; celui-ci permet alors au registre de s'abaisser dans le conduit de la cheminée, ce qui arrête la violence du feu.

S est une soupape de sûreté chargée d'un poids déterminé, et tellement proportionnée qu'elle garantit la chaudière contre le danger d'une pression poussée au-delà d'une certaine température. Cette soupape est renfermée dans une boîte pour empêcher l'ouvrier qui fait le travail de la machine d'y avoir accès, parce qu'il est arrivé à quelques-uns de surcharger cette soupape pour s'épargner la peine de soigner le feu avec l'activité que ce travail exige, et de compromettre leur propre existence en même temps qu'ils exposaient la vie d'autres hommes.

Un tuyau communique de cette boîte dans la cheminée pour y conduire et y faire écouler toute la vapeur qui s'échapperait par la soupape.

On ajoute très souvent une seconde soupape de sûreté qu'on laisse sous les yeux de l'ouvrier afin qu'il puisse juger quand le feu est trop considérable.

TT est un tuyau en tôle, traversant le milieu de la chaudière assez près du fond pour être toujours couvert d'eau.

La flamme et la fumée du feu en *nn* passent d'abord sous la chaudière, reviennent immédiatement par ce tuyau, se divisent ensuite, et passent dans d'autres tuyaux qui conduisent la fumée des côtés de la chaudière à la cheminée par où elle s'échappe.

V est un robinet qui sert à vider la chaudière quand on veut la nettoyer ou la réparer.

Telle est la construction, et tel est l'arrangement général des parties des machines de MM. Boulton et Watt, tant à simple qu'à double effet. Nous allons maintenant examiner quelques autres

formes de machines qui condensent également la vapeur.

M. Hornblower, concevant qu'on pouvait obtenir une plus grande force par l'emploi de la puissance de la vapeur agissant dans deux cylindres, obtint, en 1781, un privilége pour cet objet. Nous allons copier le détail qu'il en donne lui-même dans sa patente. « Premièrement, dit M. Hornblower, j'emploie deux vaisseaux dans lesquels la vapeur doit agir, et que dans les autres machines on nomme les cylindres; en second lieu je fais servir la vapeur après qu'elle a déjà agi dans le premier vaisseau, et j'emploie son action dans le second, en lui permettant de se dilater, ce que j'exécute en combinant les vaisseaux l'un avec l'autre, et en établissant des conduits et des ouvertures convenables par lesquels la vapeur entre dans ces vaisseaux ou en sort, suivant les cas; troisièmement, je condense la vapeur en la faisant arriver en contact avec des surfaces métalliques qui reçoivent en même temps de l'eau sur le côté opposé; quatrièmement, pour débarrasser la machine de l'eau employée pour condenser la vapeur, je suspends une colonne d'eau dans un tube ou vase préparé à cet effet, sur les mêmes principes que le baromètre; l'extrémité supérieure ayant une communication ouverte avec les vaisseaux à vapeur, et l'autre extrémité plongeant dans un vase plein d'eau; cinquièmement, pour évacuer l'air qui entre dans les vaisseaux à vapeur avec l'eau de condensation, ou autrement, je le fais passer dans un vaisseau séparé d'où il est chassé par l'admission de la vapeur; sixièmement, afin que la vapeur condensée ne reste pas dans le vaisseau à vapeur où la condensation s'est faite, je la rassemble dans un autre vase qui a une communication ouverte avec les vaisseaux à vapeur, et avec l'eau d'un réservoir, d'une rivière ou d'une mine; enfin dans les cas où l'air est employé pour agir sur le piston, j'emploie un piston construit de manière à recevoir de la vapeur autour de sa périphérie, et en contact avec les côtés du vaisseau à vapeur, et à empêcher ainsi l'air extérieur de pénétrer entre les côtés du vaisseau à vapeur et le piston. »

Voici la description de cette machine telle que l'a donnée M. Hornblower lui-même :

« Soit A et B (*fig.* 29) deux cylindres dont A est le plus grand ; il y a dans chacun un piston avec sa tige C et D qui fonctionne en traversant un collet E et F ; ces cylindres peuvent être entretenus de vapeur au moyen d'un conduit carré G garni d'un rebord, pour le lier avec le reste du tuyau à vapeur. Cette partie, qui est en carré, est représentée comme formant un embranchement qui se rend aux deux cylindres ; *c* et *d* sont deux robinets qui ont une poignée et un godet comme à l'ordinaire, et qui sont mis en mouvement par la tige W. Sur le devant des cylindres, c'est-à-dire du côté qui est en face du spectateur, on voit un autre tuyau de communication dont la section est aussi carrée ou rectangulaire, et qui est également garnie de deux robinets *a* et *b*. Le tuyau *y*, immédiatement au-dessous du robinet *b*, établit une communication entre les deux parties, supérieure et inférieure, du petit cylindre B, quand on ouvre ce robinet. Il y a un tuyau semblable de l'autre côté du cylindre A, immédiatement au-dessous du robinet *d*.

« Quand les robinets *c* et *a* sont ouverts, et que ceux *b* et *d* sont fermés, la vapeur de la bouilloire peut se rendre dans la partie supérieure du petit cylindre B ; et la vapeur de la partie inférieure de B passe librement dans la partie supérieure du grand cylindre A ; mais la partie supérieure de chaque cylindre n'a aucune communication avec la partie inférieure.

» Du fond du grand cylindre sort le tuyau d'éduction K, qui est garni d'une soupape à son ouverture dans le cylindre ; il se courbe ensuite par en bas, et va communiquer avec le condenseur L. Le condenseur est fixé sur une boîte creuse M, sur laquelle sont élevées les deux pompes N et O destinées à en extraire l'air et l'eau. L'eau s'écoule par l'espèce d'auge T, et se rend dans un réservoir U, d'où elle est élevée par la pompe V, et va, pendant qu'elle est encore bouillante, aider à l'entretien de la chaudière. Immédiatement au-dessous du condenseur, il y a en S une soupape à robinet, au-dessus de laquelle est un petit tuyau à jet qui s'élève jusqu'au coude que fait le tuyau d'éduction K. Tout ce qui tient à l'appareil de condensation est contenu dans un réservoir R rempli d'eau froide ; un petit tuyau P vient

du côté du condenseur, et se termine au fond de l'auge T, où il est couvert par une soupape Q hermétiquement fermée par l'eau qui coule continuellement sur elle.

« Enfin les tiges des pompes H, donnant un excès de pesanteur au bout extérieur du balancier, font que quand celui-ci est en repos, sa position est celle qu'on voit dans la figure où les deux pistons sont représentés tout-à-fait au haut de leur course.

« Supposons tous les robinets ouverts, et la vapeur affluant en grande quantité, sans qu'aucune condensation se fasse en L ; la vapeur doit chasser tout l'air, et finir par le suivre et s'échapper par la soupape Q. Qu'on ferme maintenant les robinets *b* et *d*, et qu'on ouvre la soupape S du condenseur, la condensation commencera aussitôt, et entraînera la vapeur de la partie inférieure du grand cylindre. N'y ayant alors aucune pression sur la face inférieure du piston du grand cylindre A, il s'abaissera immédiatement. La communication Y entre la partie inférieure du petit cylindre B et la partie supérieure du grand cylindre A étant ouverte, la vapeur se rendra de la partie inférieure du petit cylindre B dans l'espace que le piston du grand cylindre A a laissé vide en s'abaissant. Elle se dilatera donc, et son élasticité diminuant ne balancera plus la pression de la vapeur qui viendra de la bouilloire, et qui s'exercera au-dessus du piston de B.

» Ce piston, s'il n'était pas soutenu par le balancier, descendrait jusqu'à ce qu'il se trouvât en équilibre, à raison de ce qu'il se trouve au-dessus et au-dessous de lui de la vapeur dont la densité est la même ; mais il ne peut pas s'abaisser aussi vite parce que le cylindre A est plus grand que le cylindre B, et que le bras du balancier auquel est suspendu le grand piston n'est pas plus long que celui qui porte le piston B ; par conséquent lorsque le piston de B est descendu aussi bas que l'a permis le balancier, la vapeur entre les deux pistons occupe un espace plus considérable qu'elle ne le faisait lorsque les deux pistons étaient au haut de leurs cylindres, et sa densité diminue dans la même proportion que son volume augmente. La vapeur au-dessous du petit piston n'est pas assez forte pour balancer celle qui se trouve au-dessus, et le piston B doit tendre alors à abais-

ser le balancier d'une quantité équivalente à la différence entre ces deux pressions.

» La plus légère attention suffira pour faire concevoir au lecteur qu'à mesure que les pistons descendent, la vapeur qui se trouve entre eux devient de plus en plus rare, et perd de son élasticité, et que les deux pistons doivent faire baisser le balancier. Supposons maintenant que l'un et l'autre soient arrivés au bas de leur course, le robinet *a* et la soupape du tuyau d'éduction au fond du cylindre B seront fermés, et les robinets *b* et *d* seront ouverts. La communication étant alors établie entre les parties inférieures et supérieures de chaque cylindre, leurs pistons seront également pressés sur leurs deux faces ; de sorte que dans cette position rien n'empêchera le contre-poids de faire remonter ces pistons au haut de leur course.

» Supposons qu'ils y soient parvenus ; le cylindre B se trouve en ce moment rempli de vapeur d'une densité ordinaire, et le cylindre A contient une quantité égale de vapeur, mais dilatée dans un plus grand espace. Qu'on ferme les robinets *b* et *d*, et qu'on ouvre le robinet *a* et la soupape du tuyau d'éduction au fond de A, la condensation recommencera, et fera descendre les pistons. L'opération peut ainsi se répéter aussi longtemps qu'on aura de la vapeur, et la quantité qu'on en dépensera à chaque coup de piston, sera égale à la quantité de vapeur ordinaire qui suffit pour remplir le cylindre B. »

Les robinets de cette machine sont composés de deux parties circulaires qui s'ajustent très-exactement l'une avec l'autre ; l'une des deux tourne sur un axe qui passe par leurs centres ; chacune est percée de trois ouvertures qui répondent précisément à celles de l'autre et qui occupent un peu moins de la moitié de leurs surfaces. En tournant la partie mobile de manière à ce que les ouvertures coïncident, un large passage se trouve ouvert à la vapeur, et en la tournant de manière à ce que la partie solide de l'un couvre les ouvertures de l'autre, le robinet est fermé. On emploie très communément aujourd'hui des régulateurs de cette construction pour les poêles en fonte qui servent à chauffer des chambres. Voici le moyen qu'à imaginé M. Hornblower pour

rendre imperméable à l'air le collet dans lequel passent les tiges des pistons. Ce collet, qui dans le fait en ferme deux, se compose de deux parties placées à peu de distance l'une de l'autre; un petit tuyau qui part du tuyau à vapeur établit une communication entre celui-ci et l'espace qui sépare les deux parties du collet. Cette vapeur étant un peu plus forte que la pression de l'atmosphère, empêche l'air de pénétrer la partie supérieure du collet; et quand il arriverait qu'un peu de vapeur pénétrât par la partie inférieure dans le cylindre A, il n'y aurait aucun inconvénient. La manière d'exécuter cette espèce de boîte est la suivante: au sommet du cylindre est une boîte qui doit contenir quelque chose de doux, mais assez serré, et qui embrasse le piston dans ses mouvemens alternatifs; on se sert ordinairement d'une espèce de cordon tressé en laine blanche filée, étendu avec soin, et pressé de manière à n'occuper que le tiers de son épaisseur; au-dessus est placé une sorte de trépied ayant une boucle plate en cuivre à chacune de ses parties supérieure et inférieure; la largeur de ces boucles est égale à celle de l'espace entre la tige du piston et le côté de la boîte. Cette double boucle étant passée par le bout de la tige du piston, et mise à sa place, on la charge d'une autre quantité de laine tressée qu'on enfonce de la même manière que la première fois; alors il reste un espace vide entre les deux couches, et c'est dans cet espace qu'on fait arriver de la chaudière de la vapeur qui ait la force nécessaire. De cette manière la garniture qui entoure la tige du piston se trouve en état d'empêcher l'air de pénétrer dans le piston dans les instans où il pourrait y avoir un vide partiel au-dessus du piston.

La description de cette machine, par M. Hornblower, était accompagnée d'un examen mathématique des principes d'après lesquels elle agissait. L'ingénieux M. Robison, qui en est l'auteur, démontre que l'effet est le même que celui de la machine à dilatation de M. Watt. Mais quoique cela soit vrai, il y a une très grande différence dans les moyens par lesquels cet effet est obtenu, et ils donnent un avantage important dans la pratique. Nous allons nous livrer au même examen, mais dans une forme

plus vulgaire, et en n'employant que l'arithmétique ordinaire. M. Hornblower établissait que la puissance ou la pression qu'exerce la vapeur est en raison inverse de l'espace dans lequel elle est dilatée ; cela est vrai pour l'air, et pour le moment nous admettrons que cela est également vrai pour la vapeur, et nous raisonnerons d'après les données mêmes que nous fournit l'ingénieux inventeur de cette machine.

Afin d'expliquer clairement ce qui se passe dans les deux cylindres, nous nous écarterons de la forme précise de la machine, et nous nous affranchirons d'une trop grande complication d'idées, en réduisant les deux cylindres à un même coup ; supposons en conséquence que la machine soit faite comme la représente la figure 30, où les deux cylindres sont placés l'un au-dessus de l'autre ; celui du bas ayant une capacité double de l'autre, et les deux pistons étant attachés à une même tige qui tient à un des bouts du balancier, de manière que la descente des pistons entraîne et élève le contre-poids à l'autre bout du balancier. Alors si nous supposons que le petit piston a dix pouces de diamètre, le grand piston devra en avoir 14, 14 ; et afin d'éviter toutes difficultés de rapport de la dilatation et de la pression de la vapeur, nous supposerons que le travail de la machine se fait par la pression atmosphérique au lieu de la vapeur ; et à raison de la commodité des nombres ronds pour le calcul, nous ne compterons la pression que de dix livres exactement par pouce circulaire sur la surface du piston.

L'aire du petit piston sera de 100 pouces circulaires, et en supposant qu'il fonctionne sans éprouver de frottement, la pression à laquelle il sera soumis sera de $10 \times 100 = 1000$ livres. L'aire du grand piston étant double de l'autre, ou de 200 pouces circulaires, la pression qu'il éprouvera sera de 2000 livres.

Supposons les deux pistons au haut de leur course dans leurs cylindres respectifs, et que l'air atmosphérique exerce librement sa pression sur la surface supérieure du petit piston ; supposons aussi que l'espace entre les deux pistons soit rempli d'air de même densité, tandis qu'il y a un vide parfait dans la partie inférieure du grand cylindre, au-dessous de son piston.

Dans cet état de choses, les deux pistons commenceront à descendre avec un peu moins de 2000 livres de pression sur le grand piston par l'air contenu dans l'espace entre les deux pistons portant sur 200 pouces de surface avec un poids de 10 livres par pouce ; et au-dessous de ce piston il n'y aura rien pour contre-balancer cette pression. Dans le même temps le petit piston ayant, au-dessus comme au-dessous, de l'air d'une même densité, se trouvera en équilibre.

Cette force balancerait une charge de 2000 livres; mais si l'on réduisait cette charge à 1900 livres, alors les pistons commenceraient immédiatement à descendre, mais ils s'arrêteraient promptement, parce que l'air entre les deux pistons se dilaterait pour remplir l'espace qui deviendrait plus considérable à raison de la même quantité d'abaissement des deux pistons dans les cylindres dont la capacité de l'un est double de celle de l'autre; et comme l'air serait alors plus rare, sa pression sur le grand piston serait moins forte; mais comme cette même diminution de force doit donner au petit piston le pouvoir de s'abaisser, nous allons premièrement considérer les pistons séparément, et ensuite nous les examinerons conjointement, relativement à la force qu'ils ont pour descendre et pour abaisser le balancier.

FORCE DE DESCENTE DU GRAND PISTON.	FORCE DE DESCENTE DU PETIT PISTON.	FORCE COMBINÉE DES DEUX PISTONS.
Cette force sera d'abord de **2000 liv.** A raison de la pression de 10 liv. par pouce circulaire sur sa face supérieure, et de l'absence de toute pression sur la face inférieure.	La force sera d'abord nulle ou **0 liv.** Parce que le piston se trouve en équilibre, ayant 1000 liv. qui pressent sa surface supérieure, et 1000 livres sur sa face inférieure.	En commençant **2000 liv.**
A un quart de la course, la force aura diminué régulièrement jusqu'à **1600 liv.** Parce que l'air entre les deux pistons occupera les trois quarts du petit cylindre, et un quart du grand; ce qui est un espace égal à $1\frac{1}{4}$ du premier espace qu'il occupait; l'espace sera donc :: 5 : 4; et si la densité de l'air est en raison inverse de l'espace qu'il occupe, la pression sur le grand piston doit être :: 4 : 5, ou être les $\frac{4}{5}$ de 2000 = 1600.	A un quart de la course, la force sera de **200 liv.** Parce que l'équilibre ne continue pas, et qu'à un quart de la course, la pression sous le petit piston est réduite, par la dilatation de l'air entre les deux pistons, aux $\frac{4}{5}$ de 1000 ou à 800 livres, tandis que la pression au-dessus du piston continue à être de 1000 livres; la force est donc 1000 — 800 = 200.	A un quart de la course **1800 liv.**
A la moitié de la course, la force sera réduite à **$1333\frac{1}{3}$ liv.** Parce que dans cette position l'air entre les pistons occupe la moitié du petit cylindre et la moitié du grand, ce qui est un espace égal à $1\frac{1}{2}$, fois le premier espace qu'il remplissait d'abord.	A la moitié de la course, la force sera portée à **$333\frac{1}{3}$ liv.** Parce que la pression en-dessous est déterminée par la dilatation de l'air portée à $\frac{2}{3}$ de 1000 liv. = $666\frac{2}{3}$, tandis que la pression par en haut est toujours de 1000 livres.	A la moitié de la course **$1666\frac{2}{3}$ liv.**

FORCE QUI TEND A ABAISSER LE GRAND PISTON.	FORCE QUI TEND A ABAISSER LE PETIT PISTON.	FORCES COMBINÉES DES DEUX PISTONS.
Les espaces seront donc comme 6 à 4, et la pression sur le grand piston comme 4 à 6 ou les deux tiers de 2000 $=1333\frac{1}{3}$.		
Aux trois quarts de la course, la force ne sera plus que de $1142\frac{6}{7}$ liv.	Aux trois quarts de la course, la force sera $428\frac{4}{7}$ liv.	Aux trois quarts de la course $1571\frac{3}{7}$ liv.
Parce que l'air occupera alors un quart du petit cylindre et trois quarts du grand, espace égal à $1\frac{3}{4}$ de l'espace qu'il remplissait au commencement, de sorte que les espaces seront dans le rapport de 7 à 4, et la pression sur le grand cylindre sera égale aux $\frac{4}{7}$ de 2000, ou à $1143\frac{6}{7}$.	parce que la pression en-dessous se trouve réduite, par la rareté de l'air, aux $\frac{4}{7}$ de 1000 liv., ou à $571\frac{3}{7}$, de sorte que la force est $1000-571\frac{3}{7}=428\frac{4}{7}$.	
Au bas de la course ou au fond du cylindre, la force sera de 1000 liv.	Au bas de la course, la force sera de 500 liv.	Au bas de la course 1500 liv.
Parce que l'air occupera la totalité du grand cylindre, espace égal à deux fois le petit cylindre qu'il remplissait d'abord, la pression sera donc $\frac{2000}{2}$.	Parce que l'air en-dessous du piston est réduit à la moitié de sa pression ou à 500 liv. qui déduites de 1000, il en reste 500.	
Somme des forces exercées par le piston du grand cylindre $7076\frac{4}{21}$ liv.	Somme des forces du petit piston $1461\frac{19}{21}$ liv.	Somme des forces combinées $8538\frac{2}{21}$ liv.

Le docteur Rees, dans sa *Cyclopædia*, fait les remarques suivantes sur cette machine, en la comparant au principe de dilatation de M. Watt :

« Maintenant, dit-il, examinons comment le principe d'expansion de M. Watt agirait dans la même circonstance, c'est-à-dire dans un cylindre de 14,14 pouces de diamètre, qui devrait être entretenu d'air exerçant une pression de 10 livres sur chaque pouce circulaire, jusqu'à ce qu'il eût accompli la moitié de sa descente, laissant à la dilatation de l'air déjà contenu dans la moitié supérieure du cylindre la fonction de faire parcourir au piston le reste de sa course.

Au commencement la force qui tend à faire descendre sera de	2000 liv.
A un quart de la course, elle sera encore de .	2000
A la moitié elle sera de	2000
Aux trois quarts elle sera réduite à	1333 $\frac{1}{3}$
Parce que l'air occupera alors un quart de la longueur du cylindre de plus que la moitié qu'il occupait avant que la dilatation commençât ; par conséquent l'espace sera égal à 1 $\frac{1}{2}$ fois le premier, ou dans le rapport de 3 à 2, et la pression sera égale aux $\frac{2}{3}$ de 2000.	
Au bas du cylindre, la pression sera de . . .	1000 liv.
Parce que l'air dilaté occupe le double de l'espace qu'il remplissait d'abord.	
	8333 $\frac{1}{3}$ liv.

La somme totale est, à peu de chose près, la même que la précédente ; mais toutes deux sont plus fortes qu'elles ne devraient être, à raison de la manière imparfaite dont nous avons été obligés de faire nos calculs, afin de ne nous servir que de l'arithmétique ordinaire, sans recourir aux fluxions (au calcul différentiel) qui sont la seule méthode de traiter les quantités qui croissent ou décroissent constamment suivant quelque loi donnée.

Il est facile de rendre raison de la cause de l'inexactitude. En premier lieu nous avons compté, avec la machine de M. Horn-

blower, 2000 livres au commencement de la course, et nous avons calculé comme s'il n'y avait aucune diminution jusqu'au moment où le piston arrivait au quart de sa course, et comme si la diminution se faisait tout à coup quand il est descendu à ce point, tandis que, dans la réalité, sa diminution a commencé à l'instant même où le piston s'est abaissé. Nous avons donc ici compté une petite quantité de trop. De même nous avons négligé la diminution qui a lieu entre le quart et la moitié de la descente, ainsi qu'entre les autres points où nous avons jugé à propos de l'examiner ; de sorte que le résultat que nous avons eu est celui qui aurait eu lieu si la diminution s'était faite tout à coup à chacun de ces points. Le remède à cela aurait été de faire le calcul pour un plus grand nombre de points, attendu que les fluxions seules nous permettent d'en prendre une quantité infinie, afin d'obtenir un résultat exact. Dans le second calcul, celui de la machine de M. Watt, nous avons pris un plus petit nombre encore de points où nous avons considéré la dilatation, parce que, quoiqu'il y ait quatre temps différens dans l'opération, deux de ces temps s'exécutent avant que la dilatation commence.

C'est la raison de la différence apparente, car dans la réalité il n'y en a aucune dans la somme totale des forces variables qui s'exercent pendant la durée entière du coup de piston ; c'est ce que reconnaîtra toute personne qui prendra la peine de lire les détails dans lesquels est entré le docteur Robison. Mais si nous considérons la différence dans la manière dont la force entière est employée pendant le coup de piston, nous trouverons que l'uniformité d'action, beaucoup plus grande dans la méthode de M. Hornblower, doit la faire paraître bien préférable ; elle commence avec une force de 2000 livres, et finit avec 1500 livres, tandis que la machine de M. Watt commence son action avec une force de 2000 livres, et la termine avec 1000 livres. De là est résultée la nécessité de ces inventions ingénieuses pour égaliser l'action que contient le privilége obtenu, en 1782, par M. Watt. M. Hornblower n'a pas atteint une parfaite uniformité, mais il s'en est plus approché, de sorte qu'il aurait pu

conduire l'effet du principe de la dilatation, en employant de la vapeur plus forte, beaucoup plus loin que nous croyons qu'il en ait jamais eu l'idée.

Nous nous sommes étendus sur ce sujet, parce que l'idée d'obtenir plus de force par la dilatation de l'air ou de la vapeur agissant dans deux cylindres, a séduit beaucoup de personnes, et l'on ne compte pas moins de cinq privilèges différens pour l'application de ce principe; mais plusieurs l'ont mal compris. Ni M. Watt ni M. Hornblower ne pouvaient trouver aucun avantage à fermer l'entrée à l'air, ou à employer un double cylindre quand c'est l'air qui est employé pour presser le piston; ils ne pouvaient pas non plus trouver un avantage pour leur machine dans la dilatation de la vapeur, si la pression qu'elle exerce est en raison de l'espace qu'elle occupe.

L'avantage du principe de la dilatabilité résulte entièrement d'une propriété particulière de la vapeur par laquelle, lorsqu'on lui permet de s'étendre pour occuper un plus grand espace, sa pression ou sa force élastique diminue suivant une certaine loi qui n'est pas encore bien établie, c'est-à-dire que le rapport entre sa force expansive et l'espace qu'elle occupe n'est pas clairement prouvé; mais M. Woolf a reconnu qu'en appliquant ces propriétés dans toute leur étendue à la machine à double cylindre, on peut obtenir des améliorations très-considérables et très importantes dans les effets produits par une quantité déterminée de combustible. La vapeur est un fluide si différent de l'air, qu'elle n'a qu'une seule propriété de commune avec lui, l'élasticité. Cette élasticité est entièrement due à la quantité de chaleur qu'elle contient, et sa force augmente ou diminue avec la quantité de chaleur; mais suivant quelle loi augmente ou diminue-t-elle? C'est ce que nous ne savons pas, parce que nous n'avons point de mesure de la quantité réelle de calorique contenue dans la vapeur d'une force élastique quelconque déterminée. Tout ce que nous savons avec certitude, c'est ce qu'indique la table de dilatation, c'est-à-dire que l'eau convertie en vapeur et renfermée dans un vaisseau clos, étant chauffée jusqu'à ce que le thermomètre marque un certain de-

gré de température, exerce une certaine pression, ou une certaine force élastique ; mais il faut observer ici que le thermomètre n'indique que l'intensité de la chaleur, sans donner une mesure directe de sa quantité. Lorsqu'on laisse à la vapeur la liberté de s'étendre dans un espace déterminé, la quantité d'eau raréfiée qui se trouve contenue dans un volume quelconque de vapeur, dans son état de dilatation, doit être, sans aucun doute, proportionnée à la quantité d'eau contenue dans le même volume de vapeur avant que la dilatation eût lieu ; et la proportion doit être en raison inverse de l'espace qu'elle occupait originairement, et de celui qu'elle remplit après s'être dilatée ; mais nous ne pouvons pas dire qu'il en soit ainsi de la chaleur ; et c'est la quantité de chaleur seulement qui détermine la force élastique.

Nous sommes persuadés que M. Hornblower ne pouvait pas obtenir un plus grand effet de l'application du principe de la dilatation avec deux cylindres, que M. Watt avec un seul. De 1791 à 1792, il établit une machine dans le comté de Cornwall, dans la mine d'étain de Tin-croft, dont le grand cylindre avait 27 pouces (685 millimètres) de diamètre, et dont le piston fonctionnait avec une course de 8 pieds (2,44 mètres,) et dont le petit cylindre avait 21 pouces (533 millimètres) de diamètre, fonctionnant avec une course de six pieds (1,826 mètre). Tout ce que nous avons pu savoir de la marche de cette machine a été pris dans un écrit publié par M. Thomas Wilson, agent de MM. Boulton et Watt, dans le but évident d'empêcher l'adoption des machines de M. Hornblower dans ce comté ; on y lit que sa machine ne pouvait pas élever plus de 14,222,120 livres d'eau (6,464,600 kilogrammes) à un pied de hauteur avec un boisseau de houille (38 kilogrammes).

Dans le compte que M. Hornblower rend lui-même de sa machine (dans l'ouvrage de Gregory, intitulé *Mechanics*), il nous apprend « qu'une machine construite sur ce principe a été établie, il y a quelques années, non loin de Bath, et dans des circonstances très défavorables ; les cylindres avaient 19 et 24 pouces de diamètre, et leur course, convenable pour l'objet

qu'on avait en vue, était de 6 et de 8 pieds respectivement. L'appareil de condensation était très mauvais, parce qu'on avait craint d'être accusé de blesser les droits de M. Watt ; de sorte que le plus grand degré de vide obtenu ne dépassait pas 27 pouces de mercure. La machine faisait jouer quatre pompes à une profondeur de 576 pieds (175 mètres), enlevait 4500 livres, et donnait 12 coups par minute, avec une course de six pieds dans un cylindre de 6 pieds de long et de 19 pouces de diamètre, avec beaucoup d'inertie et de frottement des tiges et des seaux ; quelques-uns de ceux-ci n'avaient que trois pouces et demi de diamètre ; et tout ce travail, fait dans des circonstances aussi défavorables, s'exécutait avec 70 livres de houille légère par heure.»

Afin de ramener à la mesure de comparaison de l'eau élevée à un pied le détail précédent de M. Hornblower, nous évaluerons les 4500 livres multipliées par un coup de piston de six pieds de course, à 27000 livres que la machine élevait d'un pied à chaque coup. 27000 livres multipliées par 14, nombre de coups par minute=378000 livres élevées à un pied par minute, et 378000 × par 60 =22680800 livres élevées à un pied par heure, ou avec une consommation de 70 livres de houille. Le boisseau houille légère ne pèse guère que 84 livres (38 kilog. environ). Or, 70 : 22680800 : : 84 : 27216000. Un boisseau de houille suffisait donc pour élever à un pied 27216000 livres d'eau, ce qui est un résultat très satisfaisant, sans pourtant être supérieur à celui de la machine de M. Watt.

Deux circonstances remarquables se sont offertes, dit M. Hornblower, dans l'usage de cette machine, qui prouvent bien les avantages de cette application du principe sur lequel elle est construite.

Première circonstance. L'ouvrier qui conduisait la machine détachait quelquefois le petit cylindre du balancier, et ne travaillait qu'avec le grand ; et alors la chaudière pouvait à peine fournir assez de vapeur pour faire aller la machine; mais il n'avait pas plutôt rattaché la tige du piston du petit cylindre au balancier qu'elle reprenait toute son activité, et la vapeur faisait sauter la soupape de sûreté.

Deuxième circonstance. Lorsque le ressort qui tenait la soupape de condensation fermée manquait par hasard son action, le piston s'arrêtait tout à coup comme il se trouvait, et il lui était impossible de s'élever jusqu'au haut de sa course en remontant. Par ce qu'on pourrait appeler une sorte d'instinct naturel, il se rabaissait successivement jusqu'à ce que le ressort eût agi, ce qui donne une preuve de la puissance de la machine pour terminer chaque coup.

Différentes machines ont été construites d'après le principe d'une dilatation de la vapeur opérée dans un second cylindre. Mais celle qui comparativement a eu le plus de succès est celle qu'on connaît sous le nom de machine de Woolf. Nous en allons copier le détail, ainsi que celui d'autres améliorations dans les parties moins importantes, et qui sont assez ingénieuses pour mériter d'être décrites.

M. Arthur Woolf obtint, en 1804, un privilége pour des perfectionnemens dans les machines à vapeur. Sa patente porte qu'il a constaté par des expériences positives. et réduit en pratique les faits suivans, relatifs à la dilatation de la vapeur. La pratique fait voir, dit-il, que la vapeur agissant avec une force expansive de quatre livres de pression sur un pouce carré contre une soupape de sûreté exposée à l'air, est susceptible de se dilater de quatre fois le volume qu'elle occupe, et d'être encore égale à la pression de l'atmosphère; que, de la même manière, de la vapeur d'une force de cinq livres sur un pouce carré peut se dilater d'une quantité égale à cinq fois son volume; et qu'enfin des masses ou des quantités de vapeur d'une même force relative de six, sept, huit, neuf ou dix livres de pression sur un pouce carré, peuvent prendre une dilatation de six, sept, huit, neuf ou dix fois leur volume, et être encore respectivement égales à l'atmosphère et capables de produire une action suffisante sur le piston d'une machine pour le forcer à s'élever dans la machine à pression atmosphérique de Newcommen à l'aide d'un contre-poids, ou d'être conduit dans la partie vide du cylindre de la machine perfectionnée, et que M. Watt a le premier employé; que ce rapport est progressif, et presque uniforme,

s'il ne l'est pas entièrement, de sorte que de la vapeur pressant avec une force expansive de 20, 30, 40 ou 50 livres sur un pouce carré, contre une soupape de sûreté, se dilatera de 20, 30, 40 ou 50 fois son volume; et que cela arrivera généralement, attendu qu'à tous les degrés intermédiaires ou plus élevés de force élastique, le nombre de fois que de la vapeur d'une température et d'une force quelconque peut se dilater, est à peu près le même que le nombre des livres qu'il peut soutenir sur un pouce carré exposé à la contre-pression de l'atmosphère, pourvu toutefois que l'espace, le plan ou le vaisseau dans lequel elle pourra se dilater, soit tenu à la même température qu'avait cette vapeur avant qu'on lui donnât un espace pour s'étendre.

Relativement aux différens degrés de température, pour amener la vapeur et la maintenir à différens degrés de force élastique au-dessus du poids de l'atmosphère, M. Woolf dit avoir éprouvé par des expériences directes, en partant du terme de l'eau bouillante ou de 212° du thermomètre de Fahrenheit, et de 80° de celui de Réaumur, point auquel la vapeur d'eau est simplement égale à la pression de l'atmosphère, que pour obtenir une augmentation de force élastique égale à cinq livres sur chaque pouce carré, la température doit être élevée à environ 227 ½ degrés (86°,44 R.), point auquel elle aura acquis la faculté de prendre cinq fois son volume, et d'être encore égale à l'atmosphère, et de pouvoir être employée comme propre à mouvoir des machines à vapeur construites d'après les moyens qu'il a inventés. La table qui suit contient différentes autres pressions, températures et forces de dilatation de la vapeur.

TABLE DE WOOLF.

Cette table indique les pressions relatives par pouce carré, la température et l'expansibilité de la vapeur à différens degrés au-dessus du point d'ébullition de l'eau, commençant à la température de la vapeur d'une force élastique égale à cinq livres par pouce carré, et portée à celle de la vapeur capable de soutenir 40 *livres par pouce carré.*

	Livres par pouce carré.		Degrés de chaleur. Fabr.	Réaum.		
La vapeur d'une force élastique qui l'emporte sur la pression de l'atmosphère sur une soupape de sûreté	5	demande à être maintenue à une température d'environ	227 1/2	86,44	et à ces dégrés respectifs de chaleur, la vapeur peut, en continuant d'être égale en élasticité à la pression de l'atmosphère, prendre en dilatation	5 une fois son volume.
	6		230 1/4	88,11		6
	7		232 3/4	89,22		7
	8		235 1/4	90,33		8
	9		237 1/2	91,33		9
	10		239 1/2	92,22		10
	15		250 1/2	97,11		15
	20		259 1/2	101,11		20
	25		267	104,44		25
	30		273	107,11		30
	35		278	109,33		35
	40		282	111,11		40

Et de la même manière, par une légère augmentation de température, on peut donner successivement à la vapeur une force de dilatation qui la rende capable de s'étendre à 50, 60, 80, 100, 200, 300 fois son volume, et plus, sans autres limites que celles dans lesquelle on est forcé de se renfermer par la nature fragile de tous les matériaux dont les chaudières et les autres parties des machines peuvent être faites. La prudence commande de ne jamais porter la force élastique de la vapeur au dernier degré auquel les matériaux peuvent résister, mais de se tenir beaucoup au-dessous de cette limite.

A la suite des détails dans lesquels M. Woolf est entré sur la nature de sa découverte, se trouve la description des perfectionnemens qu'il a exécutés en conséquence.

Dans une machine construite avec l'intention de profiter de ces améliorations, il doit y avoir deux cylindres à vapeur de

dimensions différentes, et dont les proportions relatives soient calculées sur la température ou sur la quantité de force expansive que l'on veut que prenne la vapeur qui servira à faire aller cette machine; le plus petit cylindre ou vaisseau à vapeur est celui sur lequel la capacité du plus grand doit être réglée. Si, par exemple, on a le dessein d'employer de la vapeur de la force de 40 livres sur un pouce carré (379 grammes sur un centimètre carré), le petit cylindre doit avoir une capacité égale au moins à la quarantième partie du grand. Chaque cylindre doit avoir son piston, et le petit cylindre doit avoir, avec la chaudière qui fournit la vapeur, une communication par en haut et par en bas; cette expression de haut et bas n'est que relative, attendu que les cylindres peuvent être placés et fonctionner dans une position horizontale ou dans toute autre que l'on voudra, aussi bien que dans la position verticale; et ces communications doivent être alternativement ouvertes et fermées pendant le travail de la machine, au moyen de robinets ou de soupapes d'une construction quelconque propre à l'objet que l'on se propose. Le haut du petit cylindre doit avoir une communication avec le bas du grand, et le bas du petit avec le haut du grand, avec des moyens convenables pour les ouvrir et les fermer alternativement, soit qu'on se serve de robinets ou de soupapes, soit qu'on emploie toute autre manière. Le haut et le bas du grand cylindre doivent de plus communiquer alternativement, pendant le travail de la machine, avec un vaisseau condenseur dans lequel on puisse faire arriver de l'eau pour hâter la condensation; ou bien ce même condenseur doit être refroidi par tout autre moyen propre à produire le même effet.

Cet arrangement étant fait, et la machine étant mise en mouvement, on fait arriver de la chaudière de la vapeur à une haute température, pour agir par sa force élastique sur un des côtés du petit piston, tandis que la vapeur qui l'avait déjà mis en mouvement va communiquer avec le grand cylindre où elle suit le grand piston dont la course le porte en ce moment vers celui des deux bouts de son cylindre qui se trouve ouvert au condenseur. Supposons que les deux pistons achèvent leur

course en même temps ; supposons aussi qu'ils se trouvent tous deux au haut de leur cylindre respectif et prêts à descendre ; alors la vapeur d'une force de 40 livres par pouce carré, entrant par le haut du petit cylindre, abaissera son piston, tandis que la vapeur qui se trouve au-dessous de lui, au lieu de pouvoir s'échapper dans l'atmosphère ou d'être employée à autre chose, passera dans le grand cylindre, au-dessus de son piston, qui donnera son coup par en bas en même temps que le petit piston fera la même chose ; et tandis que cela aura lieu, la vapeur qui remplissait le grand cylindre lorsque les pistons remontaient, se rendra dans le condenseur pour s'y condenser pendant que le coup de piston se donnera par en bas. Dès que les deux pistons sont arrivés au bas de leurs cylindres respectifs, la communication entre la chaudière et le haut du petit cylindre doit être fermée, et la vapeur doit pouvoir se rendre dans le bas de ce même cylindre. La communication entre le bas du petit cylindre et le haut du grand doit aussi être fermée, et celle entre le haut du premier et le bas du second, doit être ouverte. La communication entre le fond du grand cylindre et le condenseur doit être fermée, et la vapeur qui, pendant que la machine donnait un coup en descendant, remplissait le haut du cylindre, doit pouvoir s'écouler dans le condenseur ; la machine donnera alors un coup par en haut, la pression de la vapeur qui se trouve dans le haut du petit cylindre agissant sous le piston du grand cylindre ; et ainsi de suite alternativement, conduisant la vapeur sur les deux faces du petit piston, pendant que la vapeur précédemment introduite dans le petit cylindre passe alternativement sur les deux faces du grand piston dans le grand cylindre, dont on fait en même temps communiquer alternativement le haut et le bas avec le condenseur.

Dans une machine conduite suivant la méthode que nous venons de décrire, tandis que la vapeur est reçue sur une des faces du piston dans le petit cylindre, la vapeur qui se trouve sur l'autre face a une issue ouverte pour se rendre dans le grand cylindre, soit au haut, soit au bas, à raison de la condensation qui a lieu de l'autre côté du grand piston alors en communication

avec le condenseur ; et cette perte de vapeur qui se fait dans les machines où l'on n'emploie que sa force expansive, perte qui résulte de ce qu'il s'en échappe par le piston, est ici évitée, parce que toute la vapeur qui peut traverser le piston du petit cylindre est reçue dans le grand cylindre.

On pourrait changer l'arrangement de cette machine, si l'on avait besoin de le faire pour un but particulier, et faire communiquer le haut du petit cylindre avec le haut du grand ; et dans ce cas, la seule différence serait que quand le piston du petit cylindre s'abaisserait, celui du grand s'élèverait, et *vice versâ* ; ce qui dans quelques circonstances peut être plus commode que d'avoir les deux pistons fonctionnant dans le même sens.

Cette machine est exactement la même dans son action que celle de M. Hornblower, dont nous avons donné la description. Elle n'offre de nouveau que l'emploi de la vapeur à haute pression, et les proportions établies dans la grandeur des cylindres d'après la dilatabilité de la vapeur, telle qu'elle est indiquée par la table que nous avons donnée. Mais M. Woolf ajoute qu'il faut faire usage de moyens convenables pour entretenir le degré de chaleur nécessaire dans toutes les parties de l'appareil qui reçoivent la vapeur sans y devoir être condensée ; et il est bon de dire ici qu'au lieu des moyens ordinaires employés pour cet objet, soit en les plaçant dans la chaudière, soit en les mettant dans une boîte à vapeur qui communique avec elle, on peut avec avantage placer un fourneau particulier sous la boîte ou caisse à vapeur qui contient les cylindres, laquelle alors fait l'office d'une seconde chaudière et doit être garnie d'une soupape de sûreté pour régler la température. Au moyen de ce dernier arrangement, la vapeur du petit cylindre, ou du cylindre qui la mesure, peut être admise dans le grand cylindre lorsqu'on le tient à une température plus élevée que la vapeur du petit cylindre, de manière que sa force élastique peut être augmentée ; et en tenant, au contraire, le plus grand cylindre à une température plus basse que celle du petit cylindre, cette force élastique sera diminuée, ce qui peut convenir dans des circonstances particulières, et pour certains objets. Dans tous les cas il faut

avoir soin que la chaudière, ou la caisse dans laquelle sont contenus les cylindres, les tuyaux à vapeur, et généralement toutes les parties exposées à l'action de la force élastique de la vapeur aient une force proportionnée à la haute pression à laquelle on veut les exposer.

Il ne peut jamais convenir que la proportion entre la capacité du petit cylindre qui mesure la vapeur, et celle du grand cylindre ou du cylindre qui fait marcher la machine, soit plus faible que la proportion de la dilatation de la vapeur qui doit se faire, ainsi que nous l'avons dit précédemment; mais on peut très bien donner au petit cylindre une proportion plus forte; ainsi, par exemple, on peut, avec de la vapeur de la force de 40 livres sur un pouce carré, employer un petit cylindre qui ait en capacité la vingtième partie, ou même plus, de celle du grand cylindre, au lieu de la quarantième partie. Il en serait de même pour de la vapeur d'une force donnée quelconque. Il est beaucoup de circonstances où il est bon que cela soit ainsi, à raison de la difficulté d'éviter qu'il ne se perde de la vapeur, ou qu'il ne se fasse quelque condensation partielle qui diminuerait l'action de la machine, si l'on n'y pourvoyait pas en augmentant la capacité du petit cylindre.

Dans tous les cas, lorsque la machine est prête à être mise en mouvement, quelle que soit la proportion adoptée, ou avec laquelle on a le dessein d'opérer, on doit commencer par essayer sa force en variant le poids sur la soupape qui fait connaître le degré d'élasticité de la vapeur, afin de s'assurer de la force de la vapeur qui convient le mieux à la machine; car il est possible qu'on trouve de l'avantage à se servir dans certaines machines de vapeur d'une force élastique soit au-dessous, soit au-dessus de celle qu'on avait d'abord eu l'intention d'employer.

M. Woolf assure que les machines de M. Watt peuvent être améliorées en leur appliquant sa découverte, et en donnant à la chaudière et à la boîte à vapeur dans laquelle est contenu le cylindre qui opère, beaucoup plus de force qu'à l'ordinaire, et en changeant la construction et les dimensions des soupapes

qui servent à introduire la vapeur dans le cylindre; de manière que la vapeur ne puisse entrer que par degrés et par un élargissement lent et progressif de l'ouverture de la soupape, de manière à ce qu'il n'entre d'abord qu'un filet de vapeur, et qu'ensuite elle afflue plus librement. La raison de cette précaution est que la vapeur d'une force élastique aussi considérable que celle dont M. Woolf propose l'emploi, frapperait, si l'on la laissait entrer subitement, le piston avec une telle violence, que la sûreté et la durée de la machine se trouveraient compromises. L'ouverture pour le passage de la vapeur dans le cylindre ou dans les cylindres, doit être réglée d'après la considération suivante : si l'intention est que la machine opère entièrement ou presque entièrement par condensation, la vapeur, en passant dans les cylindres, doit être forcée à s'y glisser en quelque sorte, et seulement en quantité suffisante pour que le piston puisse faire sa course en entier ou en grande partie pendant le temps que la quantité déterminée de vapeur met à entrer dans le cylindre. Quand on emploie, par exemple, de la vapeur d'une force de 40 livres sur un pouce carré, on ne doit en laisser pénétrer qu'une quantité égale à la quarantième partie de la capacité du cylindre, et de même à proportion quand on se sert de vapeur de toute autre force; et quand la quantité convenable a été introduite, la vapeur doit être arrêtée jusqu'au moment où il convient d'en faire entrer une nouvelle quantité. Mais si l'on se propose de tirer aussi avantage de la force élastique de la vapeur agissant sur un des côtés du piston, pendant que la condensation se fait de l'autre côté, alors on doit laisser entrer plus librement la vapeur, mais pourtant toujours avec prudence au commencement, par la raison que nous avons donnée. Cette dernière machine est la même chose que celle à expansion de M. Watt, mais avec ce changement qui en rend la marche plus uniforme, et qui consiste à diminuer l'ouverture de la soupape à vapeur à mesure que le piston descend. Nous croyons qu'on peut, en réglant exactement le mouvement de descente de la soupape, produire un très bon effet de cette manière, sans complication de deux cylindres ou d'autres parties; le seul incon-

vènient est que si, dans un moment quelconque, la soupape venait à s'ouvrir entièrement par suite de quelque accident, l'affluence d'une quantité assez considérable de vapeur très forte sur toute la face du piston, pourrait occasionner une pression capable de mettre la machine en pièces.

M. Woolf prit, en 1805, une seconde patente pour de nouveaux perfectionnemens. Il annonçait que le feu serait, comme précédemment, appliqué au cylindre même pour chauffer la vapeur après qu'on l'aurait envoyée dans le cylindre destiné à opérer; et cela devait se faire au moyen d'un fourneau placé au-dessous de la caisse qui contiendrait le cylindre; l'espace entre la caisse et le cylindre devait être rempli avec de l'huile, de la cire, un métal fusible ou du mercure. Il proposait aussi un moyen de prévenir tout passage de la vapeur du côté du piston sur lequel elle agit, vers le côté opposé qui se trouve ouvert au condenseur. Dans les machines à vapeur qui agissent comme doubles machines, son moyen consiste à employer sur le piston ou autour une colonne de mercure ou de métal fluide d'une hauteur égale à la pression de la vapeur. L'efficacité de cet arrangement doit, suivant M. Woolf, paraître évidente, si l'on fait attention à ce qui se passe dans ce cas quand le piston fonctionne. Lorsqu'il monte, c'est-à-dire quand la vapeur est introduite dans la partie inférieure du cylindre, l'espace au-dessus du piston étant ouvert au condenseur, la vapeur qui s'efforce de s'élever en traversant le long du piston, rencontre une colonne de métal égale ou supérieure à elle en pression, qui l'empêche de passer; et dans la course descendante du piston, aucune vapeur ne peut pénétrer, à moins de s'être fait auparavant un passage à travers la colonne entière du métal.

Avec une machine à simple effet, on n'a pas besoin d'une colonne de métal aussi élevée, parce que la vapeur n'agit jamais que sur la face supérieure du piston; et dans ce cas il suffit d'une couche convenable d'huile, de cire ou de graisse; mais il faut avoir soin, en employant l'une ou l'autre espèce de machines, si l'on fait usage de ce piston, que le conduit par lequel la vapeur passe dans le condenseur soit placé de manière, et que ses

dimensions soient telles, qu'elle puisse s'y écouler avec facilité, sans chasser devant elle, ou sans entraîner quelque portion du métal ou de toute autre substance employée qui aurait traversé le piston ; et en même temps de ménager une autre issue pour le métal ou pour tout autre corps qui se serait déposé au fond du cylindre, afin de le recevoir dans un réservoir entretenu à une chaleur convenable, et d'où on le reporterait au-dessus du piston au moyen d'une petite pompe que la machine ferait jouer, ou de toute autre manière. Afin que le métal fluide employé sur le piston ne puisse pas s'oxider, il faudrait empêcher qu'il se trouvât en contact avec la vapeur, ce qu'on obtiendrait en couvrant sa surface d'une couche d'huile ou d'autre substance à l'état fluide ; enfin, pour n'être pas dans la nécessité d'employer une grande quantité de métal fluide, sans que le piston cessât pour cela d'avoir une largeur égale à la profondeur de la colonne, le diamètre de ce piston pourrait se faire un peu plus petit que le cylindre, excepté dans l'endroit où la garniture en étoupe ou autrement doit être placée ; de sorte que dans le fait la colonne de métal fluide ne formât qu'un corps mince autour du piston.

Nous avons vu une machine de cette espèce et de la force de huit chevaux qui fonctionnait, ayant sur les pistons du métal fluide, et la vapeur ne les pénétrait en aucune manière ; mais comme elle exigeait des cylindres deux fois aussi longs que ceux qu'on emploie ordinairement pour avoir assez de place pour les pistons longs ou épais qui étaient indispensables, et comme ces pistons devaient être d'une très grande pesanteur, cette méthode ne peut pas être employée dans la pratique ; et dans le fait l'augmentation de volume des parties mobiles est assez considérable pour contre-balancer l'avantage qui se borne à empêcher la vapeur de se perdre par infiltration ; car le frottement doit être plus grand que dans une autre machine, parce que le piston doit être garni d'une manière aussi solide et aussi serrée qu'à l'ordinaire pour pouvoir soutenir une colonne de métal fluide qui doit exercer une pression plus qu'égale à celle de la vapeur ; et quand la vapeur presse sur le piston, l'effort que fait le métal fluide pour s'infiltrer dans le piston doit être double de celui de la vapeur ;

enfin le frottement d'une aussi grande surface de métal fluide contre les parois intérieures du cylindre est aussi très considérable.

En 1810, M. Woolf obtint un troisième privilége dont l'objet est de prévenir les pertes de vapeur par suite de perméabilité des pistons. Dans ce but, il ne laisse point arriver la vapeur jusqu'au piston, mais il la reçoit dans un vaisseau séparé, et transmet son action au moyen d'un métal à l'état fluide. Voici comment il y parvient : à côté du cylindre il place un vaisseau séparé qui communique avec le bas du cylindre au moyen d'un large tuyau ou conduit répondant au fond des deux vases ; la vapeur étant amenée dans le vase séparé, presse la surface de l'huile ou du métal qui y est contenu, et l'oblige à passer de ce vase dans le cylindre, où il agit au-dessous du piston qu'il force à s'élever, un vide se faisant en même temps dans le haut du cylindre pour seconder l'effet de la pression.

La vapeur est dirigée alors sur la surface supérieure du piston, qui est toujours couverte d'une couche de fluide ; et en même temps le vide s'opère dans le vaisseau séparé de manière à ce qu'il ne s'exerce plus de pression sur la surface inférieure, ce qui permet au piston de descendre. Il est évident que la garniture du piston doit être assez serrée pour ne permettre à aucune partie du fluide de la pénétrer, et cela est bien plus facile que de faire une garniture assez serrée pour s'opposer au passage de la vapeur, surtout quand elle est aussi rare que celle dont M. Woolf emploie quelquefois la dilatation dans sa machine. Le vaisseau séparé dont nous venons de parler peut, dans certains cas, être l'enveloppe ou l'espace qui environne le cylindre dont alors le fond doit être percé.

Ce moyen est ingénieux ; mais nous pensons que la nécessité d'un second cylindre est un inconvénient qui empêchera de l'adopter pour les grandes machines ; et les avantages qu'il offre pour les petites ne sont pas aussi considérables.

Depuis que M. Woolf a obtenu son premier privilége, il a construit plusieurs petites machines qui fonctionnaient bien et avec une économie sensible de combustible. Mais ces machines

n'étant employées qu'à faire tourner des moulins dont le travail ne donne pas un moyen aussi exact d'évaluer la puissance que l'opération de pomper de l'eau, elles n'avaient pas pu être comparées d'une manière directe et incontestable avec celles établies sur les principes de M. Watt, jusqu'en 1815, époque où deux grandes machines furent construites dans les mines de Wheal Vor et de Wheal Abraham, comté de Cornwall, pour l'épuisement des eaux : et MM. F. J. Léan ont depuis lors rendu un compte régulier de leur travail dans des rapports dont un des objets était de constater le mérite comparatif des machines à simple et à double cylindre.

Le rapport du mois de mai 1815 établit le travail moyen de ces deux machines à 49980882 livres élevées à un pied de hauteur avec un boisseau de charbon ; et depuis ce temps elles ont été à plus de 50000000 de livres.

Dans la machine de Weal Vor, le diamètre du grand cylindre est de 53 pouces (1,346 mètre), et la course du piston est de 9 pieds (2,744 mètres) ; la capacité du petit cylindre est la cinquième partie environ de celui du grand. La machine fait aller six pompes qui élèvent à chaque coup de piston la quantité de 37982 livres (17264 kil.) à sept pieds et demi de hauteur, longueur de la course des pistons des pompes. Cela fait une pression de 14,1 livres par pouce carré sur la surface du grand piston et donne 7,6 coups par minute. Quant à la consommation en houille, en mars 1816, chaque boisseau a élevé à un pied 48432702 livres d'eau ; en avril, chaque boisseau a élevé à un pied 44000000 de livres ; en mai, 49500000 ; et en juin de la même année, 43000000.

Les mêmes rapports nous apprennent que la machine de la mine de Wheal Abraham a un grand cylindre de 45 pouces de diamètre et de 7 pieds de course, donnant huit coups et quatre dixièmes par minute sous une charge de 24050 livres qu'elle élève à sept pieds à chaque coup. Son travail pendant les quatre mois ci-dessus a été, en mars, de 50000000 de livres ; en avril, de 50908000 livres ; en mai, de 56917312 livres. Celui-ci est, à ce que nous croyons, le plus considérable qui jamais ait été fait par une machine à vapeur, enfin, en juin, 51500000 livres.

Nous devons observer que les différences dans les résultats du travail des machines construites sur le même principe et fonctionnant avec les mêmes avantages, sont les mêmes qu'on trouverait dans le produit du travail d'autant de chevaux ou d'autres animaux différens, comparativement à leur consommation en nourriture ; car les effets de différentes machines peuvent varier, à raison des petites différences qui se trouvent dans les proportions de leurs parties, autant que la force des animaux à raison de la vigueur de leur constitution ; de même, il y aura autant de différence entre le travail d'une machine en bon ou en mauvais état, bien ou mal huilée, et ayant ses parties bien ou mal préparées pour éviter les trop grands frottements, qu'il y en a dans le travail d'un animal en bonne ou en mauvaise santé, ou qu'on a trop fatigué. Mais, dans tous les cas, il y aura un maximum qu'on ne pourra pas dépasser, et un terme moyen auquel on doit toujours espérer d'atteindre.

L'arrangement des soupapes et des cylindres de ces deux machines est représenté dans la figure 31. A est le grand cylindre et B le petit, l'un et l'autre enfermés dans la boîte à vapeur. La vapeur entre de la chaudière dans la boîte à vapeur du grand cylindre par une communication en C ; il y a aussi une communication entre cette boîte à vapeur et celle du petit cylindre, de façon que toute la vapeur pour le service de la machine traverse ces deux boîtes, qui deviennent ainsi des parties de la communication entre la chaudière et le petit cylindre dans lequel la vapeur est d'abord introduite. D ouvre une communication pour reconduire à la chaudière toute l'eau que peut produire la condensation dans la boîte à vapeur avant que la machine ait acquis la température convenable. E est le tuyau de la boîte à vapeur pour fournir au service de la machine; il est garni d'une soupape régulatrice. F est la boîte à soupape du petit cylindre ; la queue de l'une des soupapes fonctionne dans celle de l'autre ; et le passage pour la vapeur ; de la boîte dans le petit cylindre, est entre les deux soupapes. G est une soupape qui ouvre la communication entre le fond du petit cylindre B et le haut du grand cylindre A, quand le piston de celui-ci doit être abaissé. H est la soupape

qui fait passer la vapeur du haut du grand cylindre dans le bas, quand le piston doit être relevé ; et I est la soupape d'épuisement, pour conduire la vapeur dans le condenseur.

Quand le coup de piston doit se donner en descendant, la soupape supérieure en F s'ouvre et laisse arriver la vapeur de la boîte pour presser le dessus du petit piston ; la soupape G s'ouvre en même temps, et laisse passer la vapeur du dessous du petit piston au-dessus du grand ; et la soupape I s'ouvre aussi et laisse la vapeur s'écouler du bas du grand cylindre dans le condenseur. Ces trois soupapes supérieures F, G, I, s'ouvrent au même instant.

Quand les deux pistons arrivent au bas de leurs cylindres respectifs, ces trois soupapes se ferment à la fois, et la soupape inférieure en F s'ouvre pour renvoyer la vapeur du haut du piston dans le bas de son cylindre ; la soupape H en fait autant dans le grand, et les deux pistons vont se remettre en équilibre, entraînés par le contre-poids. Mais la soupape supérieure en F peut être fermée à un point quelconque de la course du piston, suivant que la machine est chargée.

Ceux qui connaissent bien les machines à vapeur concevront, d'après l'explication que nous venons de donner de la manière dont se fait le passage de la vapeur de la partie supérieure à la partie inférieure de chacun des pistons respectivement, que les machines de Wheal Vor et de Wheal Abraham fonctionnent aujourd'hui par un seul coup. Si elles fonctionnaient par un coup double, la vapeur, quand le coup par en bas se donnerait, devrait passer, de même que nous l'avons dit, du bas du petit piston au haut du grand, la vapeur arrivant en même temps de la chaudière au-dessus du petit piston, et le dessous du grand piston ouvrant aussi sa communication avec le condenseur ; mais pour le coup donné en remontant, l'action serait différente de celle qui a été décrite ; la vapeur passerait du haut du petit cylindre au-dessous du grand piston, tandis que la vapeur serait amenée de la chaudière au-dessous du petit piston, et que le haut du grand cylindre s'ouvrirait au condenseur.

Les bouilloires que M. Woolf emploie pour ses machines dif-

fèrent des chaudières dont on se sert pour les machines à basse pression ; ce sont de petits tubes cylindriques qu'on remplit d'eau, et qui sont chauffés dans une position presque horizontale.

M. Woolf annonce, dans l'explication du brevet d'invention qu'il a obtenu pour cette chaudière, qu'elle consiste en deux ou en un plus grand nombre de vaisseaux cylindriques convenablement liés ensemble, et disposés de manière à former un réservoir fort et commode pour recevoir l'eau que l'on veut convertir en vapeur d'une température et sous une pression extraordinairement élevée, et qui peut présenter une grande étendue de surface convexe au courant de la flamme et de l'air échauffé d'un fourneau; et en outre en d'autres réservoirs cylindriques placés au-dessus des premiers et bien liés avec eux, afin de pouvoir contenir un peu d'eau et la vapeur qui se forme.

Ces vaisseaux cylindriques sont placés dans un fourneau construit pour eux, et de manière que la plus grande partie de la surface de chacun, ou la partie de cette surface que l'on juge convenable, reçoive l'action du feu, de la flamme ou de l'air échauffé.

Les figures 32 et 33 représentent une de ces bouilloires dans sa forme la plus simple. Elle est composée de huit tuyaux, marqués *a*, en fonte ou en tout autre métal convenable; chacun d'eux est lié avec le grand cylindre A, placé au-dessus, comme on le voit de profil (*fig.* 33). Les mêmes lettres se rapportent dans cette figure aux mêmes parties que dans la figure 32. On voit aussi figure 33 la manière dont le feu agit : le combustible est placé sur les barres de la grille en B, et la flamme et l'air échauffé étant réfléchis de la partie qui est au-dessus des deux premiers petits cylindres, passent sous le troisième, au-dessus du quatrième; sous le cinquième, au-dessus du sixième; sous le septième, et en partie au-dessus, en partie au-dessous du huitième. Les huit tubes sont pleins d'eau. La direction que suit la flamme jusqu'à ce qu'elle atteigne le dernier tube est indiquée par des lignes courbes ponctuées et par des flèches. Quand elle est parvenue à cette extrémité du fourneau, elle passe par le conduit O, de l'autre

côté d'un mur élevé au-dessous du grand cylindre A, dans la direction de la longueur, et la flamme revient ensuite sous le bout opposé du septième cylindre, sur le sixième, sous le cinquième, sur le quatrième, sous le troisième, sur le second, et en partie au-dessus, en partie au-dessous du premier, d'où elle entre dans la cheminée. Le mur dont on vient de parler, qui divise le fourneau dans sa longueur, remplit le double objet de faire parcourir un espace plus long à la flamme et à l'air échauffé, en donnant leur chaleur à la bouilloire, et d'empêcher les renflemens ou les autres joints employés pour lier les petits tubes aux grands cylindres, d'être dégradés par le feu. Les bouts des petits tubes cylindriques sont appuyés sur la maçonnerie en briques qui forme les côtés du fourneau, et l'un des bouts de chacun a un couvercle assujetti par des vis qui entrent dans un renflement, et qu'on peut ôter quand on veut nettoyer le tuyau et en enlever les dépôts ou les incrustations qui peuvent s'y former. Dans un endroit convenable du grand cylindre A, est posé un tuyau qui conduit la vapeur à la machine. Quand on emploie des bouilloires de cette espèce, l'eau qu'enlève l'évaporation est remplacée par de l'eau qu'on force d'y entrer par le moyen dont on se sert ordinairement pour les machines à haute pression, c'est-à-dire à l'aide d'une pompe, et la vapeur produite est conduite où l'on veut la faire arriver par des tuyaux qui se lient avec la partie supérieure du cylindre A. M. Woolf indique dans les détails de sa patente les moyens d'adapter sa méthode aux chaudières des machines déjà en usage, en plaçant une rangée de cylindres au-dessous de la chaudière actuelle, et en les liant entre eux et avec la chaudière. Il donne aussi la manière de construire des bouilloires composées de cylindres disposés verticalement. Dans tous les cas, les tubes composant la bouilloire doivent être placés et combinés, et le fourneau doit être construit de manière que le feu et la flamme puissent agir autour et au-dessus des tuyaux, en embrassant la plus grande partie possible de leur surface. Il n'est personne qui ne conçoive que les tubes peuvent être faits de plusieurs espèces de métaux, mais ceux en fonte sont les plus convenables. La grandeur de ces tuyaux peut varier, mais il faut avoir soin de ne ja-

jamais leur donner un diamètre trop considérable ; car il ne faut pas oublier que plus le diamètre de l'un des tubes qui forment cette espèce de bouilloire sera grand, plus le tube devra avoir de force pour être en état de résister à la même force expansive de la vapeur que les tubes plus petits. Il n'est pas indispensable que les tubes soient de différentes grosseurs ; cependant ceux du haut, principalement le dernier, qu'on appelle le cylindre à vapeur, doivent être plus grands que ceux qui sont au-dessous ; le dernier étant comme un réservoir dans lequel les tubes inférieurs envoient la vapeur, pour de là s'écouler par le tuyau à vapeur. A l'égard de la quantité d'eau qu'il convient de mettre dans une bouilloire de cette construction, M. Woolf dit que l'on doit non-seulement tenir toujours pleins tous les tubes inférieurs, mais que le grand cylindre A doit aussi être rempli jusqu'à environ la moitié de son diamètre, c'est-à-dire aussi haut que la flamme peut s'élever ; et dans aucun cas, on ne doit en laisser assez peu pour que les branches verticales qui joignent les autres tubes au grand cylindre ne soient pas remplies, parce que le feu n'est utilement employé que lorsqu'il est appliqué, par l'intermédiaire du métal interposé, à l'eau qu'il doit convertir en vapeur ; c'est-à-dire que l'objet de cette bouilloire serait en partie manqué, si quelqu'une des parties des tubes qui sont exposées à l'action directe du feu présentait une surface de vapeur dans son intérieur au lieu d'eau pour recevoir la chaleur communiquée, et c'est ce qui arriverait à un degré plus ou moins considérable, toutes les fois que les tubes inférieurs et même une partie du grand cylindre ne seraient pas tout-à-fait remplis d'eau.

Quant au fourneau convenable à cette espèce de bouilloire, il doit être construit de manière à donner à la flamme et à l'air échauffé un long trajet à parcourir en ondoyant, à les conduire le plus sûrement contre les parois des tubes qui forment la bouilloire, et à déposer ainsi la plus grande partie de leur chaleur avant d'arriver au conduit de la cheminée. Sans cette précaution il y aurait une beaucoup plus grande partie de combustible employé inutilement, et la même quantité donnée de ce combustible échaufferait moins l'eau et la vapeur contenues dans la bouilloire.

L'espèce de bouilloire que nous venons de décrire convient très-bien lorsqu'on n'a pas besoin d'employer de la vapeur à une très-haute température ; mais lorsqu'il faut un feu d'une extrême violence pour produire la force élastique la plus considérable, les parties sont combinées d'une manière un peu différente, quoique le principe soit le même. On trouve dans le *Philosophical Magazine*, vol. XVII, p. 40, une description et un dessin d'une bouilloire de cette espèce, dont deux ont été établies, en 1803, dans la brasserie de MM. Meux, à Londres.

M. Woolf fait usage, dans tous les cas, de deux soupapes de sûreté au moins, pour prévenir les accidens, précaution qu'on ne saurait trop recommander ; car il peut arriver, si l'on n'en emploie qu'une, qu'elle soit arrêtée par quelque accident, et que la machine et les personnes qui en sont voisines soient exposées à une explosion.

Dans les machines de M. Woolf que nous avons vues, il emploie des bouilloires semblables à celle que nous avons décrite, savoir : deux petits tubes en bas, pleins d'eau et exposés à l'action immédiate de la flamme, ayant une communication, au moyen de branches verticales, avec un grand cylindre placé au-dessus et contenant de l'eau dans la partie inférieure, et de la vapeur dans la partie supérieure. La seule différence avec celle que nous avons décrite, est que les tubes supérieur et inférieur sont dans la même direction au lieu d'être placés à angles droits, et la flamme agit dans le sens de leur longueur au lieu de les traverser, les tubes inférieurs ou tubes à l'eau sont un peu inclinés vers le haut. Le métal dont ils sont composés est très-épais, afin de leur donner de la force ou d'assurer leur durée.

L'idée de former les bouilloires destinées à donner de la vapeur d'une force considérable, avec un certain nombre de petits tubes auxquels on peut assurer plus de résistance qu'à un seul vaisseau très-spacieux, n'appartient pas à M. Woolf. M. Blakey, dont nous avons déjà parlé, l'avait proposée dans un traité écrit en français et publié par lui à La Haye, en 1776. Mais ses tubes devaient être placés les uns aux au-dessus des autres, dans une direction inclinée, et l'eau étant introduite dans l'extrémité su-

périeure, devait s'écouler dans les tubes inclinés et échauffés, et s'y convertir en vapeur.

Soupape régulatrice de M. Woolf. Indépendamment des soupapes ordinaires de sûreté, M. Woolf a imaginé de placer dans le tuyau à vapeur même une soupape d'une nouvelle ferme pour régler la quantité de vapeur qui doit arriver de la chaudière. C'est dans le fait un véritable régulateur agissant de lui-même, et dont l'idée est très-ingénieuse.

A (*fig.* 34) est une portion du grand cylindre ou cylindre à vapeur de la bouilloire de M. Woolf; BB, le conduit par où sort la vapeur, surmonté par une boîte à vapeur C jointe à la branche BB au moyen des renflemens *a a*. Le couvercle de la boîte à vapeur C, indiqué par la lettre D, est solidement fixé à sa place; il est percé d'un trou pour laisser passer la queue de la soupape, et le dedans de ce trou forme une petite boîte à étoupe, afin que la queue ou tige de la soupape puisse y jouer dans les deux sens, sans laisser échapper de vapeur; la garniture d'étoupe est maintenue au moyen d'un collet ordinaire à écrous, ainsi qu'on le voit dans la figure. Au moyen de l'épingle *b* et de deux pièces verticales *e e*, la queue de la soupape est arrêtée en *m* qui sert de couvercle au cylindre creux *n n*. Le couvercle *m* ferme hermétiquement l'ouverture conique à l'extrémité supérieure d'un collet *oo*, fixé au renflement *aa*, et qui descend dans la branche ou conduit BB, et y forme un baril dans lequel le cylindre est pressé. Le cylindre *n n* est ouvert au fond, et communique librement avec la bouilloire A. Il y a trois fentes ou rainures verticales pratiquées sur ses parois; on en voit une en S, dans la figure. La somme des aires de toutes ces fentes ou ouvertures est égale à l'aire de l'ouverture du collet *o o* dans lequel le cylindre *n n* fonctionne.

Quand la vapeur acquiert un degré de force élastique suffisant pour lever la soupape (c'est-à-dire le cylindre *n n* avec son couvercle *m* et la tige R) ainsi que le poids quelconque dont la queue peut être chargée, alors les rainures *s* s'élevant au-dessus du collet imperméable *o o*, permettent à la vapeur de passer dans la boîte C, et de s'écouler vers la machine par le tuyau N. Mais la

quantité qui passe est proportionnée à la force élastique qu'elle a acquise, et au poids dont la soupape est chargée, par la raison que les rainures S ne s'élèvent au-dessus du collet *oo* que dans cette proportion.

On peut charger cette soupape en y plaçant des poids de quelqu'une des manières connues; mais M. Woolf donne la préférence à celle qui est indiquée dans la figure, où la partie supérieure de la tige R est jointe, au moyen d'une chaîne, à un quart de cercle Q, afin de pouvoir y suspendre un poids Z qu'on peut approcher ou éloigner plus ou moins du centre du quart de cercle, suivant qu'on veut augmenter ou diminuer la pression sur la soupape.

Quand la soupape s'élève, le poids est porté en haut dans l'arc *nn*, opposant une résistance qui va continuellement en augmentant, à l'élévation de la soupape : résistance proportionnée à la distance horizontale du poids au centre de Q, dont le bras de levier augmente continuellement à mesure qu'il s'élève dans l'arc, suivant les distances horizontales mesurées sur la ligne Q*p*, par des lignes passant par le centre du poids selon des directions perpendiculaires à la ligne horizontale.

Ainsi, si le poids Z pèse sur la soupape *m* avec une force égale à 20 livres sur un pouce carré de l'ouverture en *oo*, dans la position qu'il occupe, quand il s'élèvera jusqu'en *i*, il pèsera avec une force égale à 30 livres, et en *p* avec une force égale à 40 livres sur un pouce carré ; de manière que la tige R peut être employée en même temps comme index par la personne qui soigne le feu, n'y ayant rien à faire de plus que de graduer l'arc décrit par le bout de la tige QZ, au moyen d'essais. Sur le côté de la boîte à vapeur C, il y a une ouverture N pour permettre à la vapeur de se rendre par un tuyau à la machine.

Il est clair que la pression sur la soupape peut se régler en faisant glisser le poids Z à une plus ou moins grande distance du centre du mouvement. De plus, pour régler la quantité dont le poids augmente la résistance de manière à répondre à l'augmentation de force de la vapeur, le rayon du quart de cercle Q doit être proportionné au diamètre de la soupape et aux rainures S, de sorte

que l'élévation du poids Z dans le cadran réponde aux changements dans la pression. Cet arrangement doit être fait aussitôt que cela se peut, avant que la soupape soit fixée; et pour l'amener ensuite à être exactement réglée, la chaîne est attachée à la tige R, au moyen d'une noix et d'un écrou; de façon qu'une partie quelconque de l'arc peut être employée suivant qu'on la trouve répondre mieux aux changemens de pression, parce que la quantité relative dont augmente la résistance du levier est plus rapide quand le poids est près de la ligne horizontale.

Le même effet peut être produit en faisant les rainures plus étroites au bas des cylindres, au lieu de les faire parallèles.

MM. Boulton et Watt, peu après l'expiration de leur privilège pour effectuer la condensation dans un vaisseau séparé, firent connaître une nouvelle forme de machine, dite à levier rotatif (*bell creanck engine*), dont nous allons décrire ce que nous croyons nécessaire pour donner l'idée des changements adoptés dans le mode de construction.

La figure 35 fait voir le profil de la machine. ABC est le levier; il y a de l'autre côté une partie parfaitement semblable qui se meut sur un centre fixe C; l'extrémité AD est jointe à une pièce en croix qui fait aller la tige du piston dans un cylindre. E sert pour la pompe à air, et G pour la pompe à l'eau froide, et la même barre peut faire jouer la pompe à l'eau chaude. La bielle de B en H est supposée attachée à la manivelle du volant en H. Les machines de cette construction n'ont aucun avantage particulier, si ce n'est celui qui peut résulter de ce qu'ils sont plus rassemblés; mais il n'est pas assez considérable pour balancer l'augmentation de frottement. Dans le commencement de l'emploi des bateaux à vapeur, on s'est quelquefois servi de ces machines; mais on a reconnu qu'elles n'étaient pas aussi bonnes que celles à double balancier.

Machine vibrante.

Dans la vue de pouvoir se passer du balancier, et pour communiquer directement le mouvement de la tige du piston à la manivelle du volant, on a construit une espèce de machine qui

a été trouvée passable pour celles qui ont de petites dimensions, et dont la tige du piston peut être faite d'une force suffisante comparativement au poids du cylindre qui doit vibrer. Nous en avons vu une de la force d'un cheval environ qui servait depuis quatre ans.

Dans la figure 36, A est le cylindre; B, la tige du piston; C, la manivelle; D, le volant; E, un support qui porte le pivot cylindrique F, et qui en porte un semblable du côté opposé. Un de ces pivots est formé comme la clef d'un robinet à quatre fins, ayant une communication avec le haut et le bas du cylindre; le mouvement du piston fait vibrer le cylindre pour tourner la manivelle et le volant, et la vapeur passe alternativement au haut et au bas du cylindre par les axes à deux conduits sur lesquels le cylindre fait ses vibrations.

Quand les machines de cette forme ont des dimensions considérables, il est dangereux que le piston se courbe, et dans le mouvement de vibration, le poids du cylindre relâche l'appareil qui maintient la garniture dans le collet à étoupes au haut du cylindre.

Machine à rotation continue.

Toutes les machines dont il a été question précédemment ont leur action produite par le mouvement d'un piston dans un cylindre, et opèrent par ce qu'on appelle un mouvement alternatif. Dans ces sortes de machines une portion considérable de la puissance est employée, et comme perdue pour arrêter le mouvement des différentes parties qui fonctionnent, et les faire agir ensuite dans un sens directement opposé; cet inconvénient a beaucoup exercé l'imagination des ingénieurs, et un grand nombre d'essais ont été faits pour construire une machine dans laquelle l'action de la vapeur pût être continue, et dont les parties ne fussent pas forcées à des instans de repos.

Le moyen qui se présente le plus naturellement pour atteindre cet objet, est de produire un mouvement de rotation. La figure 37 représente une des machines les plus simples qu'on ait construites sur ce principe. L'on y voit une première coupe à an-

gles droits avec l'arbre tournant, et une seconde coupe faite parallèlement à cet arbre ; les mêmes lettres indiquent les mêmes parties dans ces deux coupes. UUUU est une boîte circulaire ou caisse à vapeur dont les deux bouts sont fermés par deux plateaux circulaires VVVV que traverse l'arbre R. A l'arbre R est attachée, par quatre bras SSSS, la boucle PP dans laquelle les pièces plates A et B sont fixées sur deux pivots imperméables à la vapeur, mais qui peuvent être baissés sur la boucle comme A, ou qui peuvent s'ouvrir, et fermer le passage de la vapeur OOOO comme B. A chacune de ces quatres pièces est attachée une queue ou pièce glissante C et D, qui pendant la révolution touche le clou ou bouton E, et élève les pièces plates A ou B vers le passage de la vapeur, comme l'indique la pièce ponctuée en A, au moment où elle a passé l'ouverture I. Le passage au condenseur est représenté en N ; G est une pièce arquée attachée à la caisse extérieure, et s'appliquant hermétiquement sur la boucle PPPP, servant à fermer les pièces A et B, à mesure qu'elles tournent. La vapeur entrant en I, presse sur G, et sur la pièce A qui est supposée arriver dans cette position à l'instant même, et la force de tourner, ainsi que la boucle PPPP, et l'arbre central R, jusqu'à ce qu'elle passe l'ouverture par laquelle la vapeur se rend dans le condenseur ; mais en ce moment l'autre pièce B a déjà traversé le passage de la vapeur, et a pris la position qui lui permet de recevoir l'action de la vapeur, et de continuer le mouvement de rotation.

Le passage de la vapeur OOOO peut être considéré comme un cylindre courbé, et les pièces A et B, quand elles bouchent, comme faisant les fonctions de pistons, recevant l'action de la vapeur toujours du même côté, et opérant la condensation toujours du côté opposé. Comme il est nécessaire que le passage de la vapeur se termine quelque part, G est une pièce indispensable, et le mouvement des pièces plates sur des pivots, ou quelque autre moyen analogue, pour franchir cet obstacle, est inévitable ; et cette nécessité où l'on est de faire continuellement et dans des sens différens remuer des pièces qui servent de pistons, dans la place où elles sont fixées, rend extrêmement difficile

de les maintenir dans un état tel qu'elles ne laissent pas perdre de la vapeur. Cette difficulté et l'impossibilité de donner une forme cylindrique au passage de la vapeur, sont des inconvéniens très-majeurs. On n'a pas tardé à reconnaître qu'on ne pouvait pas les maintenir long-temps en état de travailler sans rencontrer des obstacles qu'on n'a pas encore trouvé le moyen de surmonter ; et comme, jusqu'à présent, ces machines existent sans être utiles, nous nous abstiendrons de les décrire plus longuement.

Machines à haute pression.

Si l'on pousse le feu de manière à faire bouillir l'eau avec une grande force, on obtient de la vapeur d'une puissance plus considérable ; et l'on sait depuis long-temps que l'augmentation de cette puissance est plus considérable à proportion que l'augmentation de la consommation en combustible ; beaucoup de personnes ont en conséquence cherché à employer la vapeur à une très haute pression. Celle dont on fait généralement usage pour les machines à haute pression ne surpasse guère 30 ou 40 livres par pouce carré, et rarement on la porte au-delà de 50 livres.

Dans les machines où la pression est aussi forte, on ne tient pas compte du poids de l'atmosphère, et la manière d'opérer le mouvement du piston consiste à laisser un des bouts du cylindre exposé à l'air, tandis que la vapeur agit sur le côté opposé du piston. Par cette méthode on n'a besoin d'aucune des parties qui servaient à la condensation ; ainsi l'on économise les frais de leur construction ; on évite les frottemens que leur travail occasionnait, et la nécessité de les surveiller pour les maintenir en bon état. La machine en devient beaucoup plus simple, mais malheureusement elle n'est pas exempte de danger.

La vapeur a été employée de cette manière dès l'année 1724, et a été décrite par Leupold dans son *Theatrum Machinarum hydraulicarum*, vol. XI, p. 93. La machine qu'il décrit était formée de deux cylindres ayant des pistons attachés à deux balanciers séparés dont les autres extrémités étaient liées à deux pompes

foulantes. Entre les cylindres il y avait un robinet à quatre fins, et lorsque les pistons étaient chargés de poids et abaissés au fond de leurs cylindres respectifs, il est évident que, par le moyen de ce robinet, la vapeur pouvait être admise alternativement au fond de chaque cylindre; tandis qu'en même temps le cylindre opposé à celui dans lequel la vapeur était introduite, avait une communication avec l'atmosphère, de sorte qu'en tournant le robinet, les deux pistons étaient alternativement élevés par la vapeur, et abaissés par l'effet des poids placés à l'autre extrémité. Cette construction simple d'une machine à haute pression peut être mise de pair avec la machine à condensation de Newcommen.

M. Watt a fait mention de cette manière d'employer l'action directe de la vapeur, dans la dernière partie des détails de son brevet, en 1769; mais l'application la plus commune que l'on ait faite de la vapeur à haute pression, est avec une machine dont la forme a été inventée par M. Trevitheck, dans le but de faire servir cette puissance aux machines locomotives. Il obtint pour cela, en 1802, une patente en commun avec M. Vivian. Leur machine, à raison du peu d'espace qu'elle occupe, est particulièrement convenable à l'objet qu'ils avaient en vue, d'autant plus qu'elle n'exige point d'eau pour la condensation, ce qui aurait été un obstacle insurmontable.

La figure 38 représente une coupe d'une machine de cette forme; AB est la chaudière; A^1, une soupape de sûreté; CD, le cylindre; G, le passage depuis la chaudière; H, le passage à la cheminée G^1 pour évacuer la vapeur. E est un robinet à quatre fins; F, le passage au haut; et K, le passage au bas du cylindre. M est le piston; N, la tige du piston; O, le bras qui lie la tige du piston avec la manivelle du volant. Le balancier R est mis en mouvement par le bras O auquel est attachée la tige d'une petite pompe S qui joue de l'autre côté de la chaudière, ce qui fait passer de l'eau dans la chaudière le long de ZU et par l'ouverture I. Le fourneau est derrière la cheminée, comme on le voit dans la figure, et est de tous côtés couvert par la chaudière. La fig. 39 est une section du cylindre faite perpendiculai-

rement à la coupe de la fig. 38. Le robinet à quatre fins se tourne au moyen d'un levier sur son axe, lequel est frappé par un bouton placé sur une tringle de la traverse C^2. Il faut concevoir qu'il y a une seconde manivelle et un second bras sur le derrière de la machine, et qu'ils sont liés par la traverse C^2.

Cette machine, à ce que nous pensons, ne demande pas de grandes explications. Le robinet à quatre fins permet à la vapeur de passer alternativement au haut et au bas du cylindre par les passages F et K, et facilite sa sortie G, l'eau froide arrivant pour entretenir la chaudière, et l'entourant de toutes parts, se pénètre de sa chaleur, de manière que la chaudière est fournie d'eau dont la température est déjà élevée, et la vapeur est condensée en H, ce qui fait qu'elle peut s'échapper avec plus de rapidité.

Cette espèce de machine était spécialement destinée à faire marcher des voitures. M. Trevitheck en construisit une, en 1804, dans le pays de Galles, et on l'essaya sur le chemin à ornières de fer de Merthyr's-tydvall. Elle conduisit le nombre de chariots nécessaires pour porter dix tonneaux de fer en barres dans une longueur de neuf milles, sans autre dépense d'eau que celle qui était contenue dans la chaudière au moment du départ, et fit le trajet à raison de cinq milles par heure. Depuis cette époque elles ont été essayées bien des fois sur des chemins à ornières; mais elles n'avaient pas été généralement adoptées, lorsqu'en 1811, M. Blenkinsop, propriétaire des mines de houille de Middleton qui approvisionnent la ville de Leeds, les employa pour la conduite de la houille sur les chemins à ornières de fer. Lorsque M. Blenkinsop adopta ces machines, il fit enlever les ornières d'un des côtés du chemin, et sur toute sa longueur, et il les remplaça par d'autres qui avaient des entailles sur leur face supérieure. Ces entailles ou dents sont coulées en même temps que la pièce qui forme l'ornière, et sont creuses en dessous afin de concilier, autant que cela est possible, la légèreté avec la force et la durée; ces dents ont six pouces à leur base, de manière qu'il n'y en a que six sur chaque pièce de trois pieds de longueur. Une roue fixée sur un axe qui serait celui du volant qu'on placerait sur un côté du chariot engrène les dents de l'ornière, et la ma-

chine entière est portée en avant sur le chemin. On a essayé très souvent, mais sans succès, de construire une machine qui pût faire marcher des voitures sur des routes ordinaires. Avant qu'on puisse y parvenir, il faudra que l'on ait réussi à réunir dans un plus petit espace les parties si multipliées de cette machine, et que son poids ait été considérablement diminué.

La figure 40 représente une machine de l'espèce de celles qu'on nomme portatives. A est le cylindre ; B, la pompe à air ; C, la pompe pour l'eau froide ; D, celle pour l'eau chaude ; E, le balancier ; F, la bielle de combinaison ; G, le volant ; H, l'arbre tournant excentrique ; et I, le régulateur.

La figure 41 représente une machine à vapeur, construite par MM. Taylor et Martineau pour le service d'un moulin à sucre. Elle n'a que douze fois la grandeur que lui donne le dessin, et le peu d'espace qu'elle occupe, joint à la simplicité de sa construction, la rend particulièremens applicable à la plupart des manufactures, où l'on n'a en général besoin d'employer qu'une force assez bornée.

Son travail se fait horizontalement, et sa pression va de 30 à 40 livres par pouce carré. Il n'y a pas de condenseur ; ses pistons sont en métal, et elle a des soupapes à coulisses. Huit boulons à écrous suffisent pour la fixer sur un massif en chêne, ou sur une forme de ce même bois d'un médiocre échantillon.

A est une manivelle liée avec la tige du piston ; celle-ci fonctionnant horizontalement dans le cylindre, ne s'aperçoit pas. B est le cylindre qui reçoit la vapeur de la chaudière au moyen du tuyau CCC. La quantité de vapeur qui entre dans le cylindre est réglée par une soupape à gorge D qui s'ouvre ou se ferme, quand cela est nécessaire, avec la verge EEE. FF est le modérateur qui consiste en deux boules pesantes avec un collet glissant *a* suspendu par le haut d'un fuseau vertical *bb* à l'axe *c*. Ce fuseau se lie avec l'arbre par une courroie qui passe sur des poulies GGG qui le font tourner ; et comme sa vitesse varie comme celle de l'arbre, les boules FF du modérateur, suivant que la vitesse augmente ou diminue, tendent à s'écarter ou à se rapprocher du fuseau. Cet écart et cette dépression ont un effet sur la verge EEE

avec laquelle le modérateur se lie, et règlent la quantité de vapeur qui entre dans le cylindre.

H est une pièce qui lie le haut de la tige du piston avec la tringle I, de sorte que le mouvement de la manivelle agit sur cette tringle qui fait mouvoir les soupapes à coulisse dans le cylindre K. L'action de ces soupapes est réglée de manière à faire passer la vapeur alternativement des deux côtés du piston; et comme la machine ne condense pas la vapeur, il y a deux tuyaux, un à chaque bout du cylindre, pour l'évacuer. On voit un de ces tuyaux en N. Quand le piston a été conduit par la force de la vapeur à une des extrémités du cylindre, les soupapes arrêtent le cours de la vapeur d'un côté, et lui ouvrent le passage qui la conduit de l'autre côté du piston. Le tuyau qui doit évacuer la vapeur du côté où elle a été arrêtée, s'ouvre et la conduit au dehors et sous terre, laissant cette partie du cylindre préparée pour recevoir de nouvelle vapeur.

La puissance engendrée par cet arrangement simple remplit ensuite l'effet qu'on s'en propose, au moyen d'un arbre tournant OOO. Sur cet arbre, à peu de distance de la machine, est placée une roue excentrique L pour élever la tige M, et pomper de l'eau pour la chaudière quand cela est nécessaire; et très près de l'autre extrémité de l'arbre tournant, il y a une autre roue W qui met en mouvement la tige V, pour servir ainsi que nous le dirons tout à l'heure.

Le mouvement de rotation que la manivelle a reçu de la machine est transmis à l'arbre tournant, à la roue L, à la botte D, au volant P, à la roue W, et à la petite roue Q, qui s'engrène dans la grande roue à dents R, sur l'arbre tournant S; celui-ci communique le mouvement aux rouleaux d'un moulin à sucre, que deux petites roues d'engrenage font tourner avec une vitesse égale.

Dans le moulin pour lequel cette machine a été faite, ainsi que dans la plupart des moulins à sucre, il y a trois rouleaux, dont un est placé entre les deux autres. C'est entre ces rouleaux que l'on fait passer les cannes à sucre pour les écraser; leur jus tombe dans un réservoir d'où il est pompé par le mouvement de la tige

V, et conduit dans une chaudière ou tout autre réceptacle. A l'endroit de l'arbre tournant marqué *e*, *e*, on laisse assez d'espace pour donner du jeu quand les cannes passent dans les rouleaux ; sans cela, l'arbre serait très exposé à être brisé et détruit.

Observations sur le travail exécuté par des machines à vapeur, dans le comté de Cornwall, depuis le mois d'août 1811 *jusqu'au mois de mai* 1815, *inclusivement; par MM.* Lean.

MM. Thomas et John Lean ayant été nommés inspecteurs-généraux des mines, les propriétaires et les ingénieurs ordinaires des différentes mines furent invités à les aider autant qu'ils le pourraient dans leurs recherches. Le premier rapport qu'ils firent comprend le mois d'août 1811, et est relatif à huit machines qui avaient consommé pendant ce mois 23661 boisseaux de houille (environ 9000 kil.), et élevé 126126000 livres d'eau (57330000 kilog.) à un pied de hauteur avec un boisseau de charbon par chaque machine. Ce qui fait un travail moyen de 15763000 livres (7162636 kilog.), élevés à un pied (0,304799 mètre) avec chaque boisseau de charbon. Les rapports des mois de septembre et d'octobre comprenaient neuf machines, et celui des mois de novembre et de décembre en comprenait douze ; et déjà on peut reconnaître que la publication régulière des Tables très utiles de MM. Lean avait produit quelque amélioration dans le service des machines ; car leur travail moyen pour le mois de décembre, tel qu'il est rapporté dans ces Tables, paraît avoir été de 17075000 livres.

En janvier 1812, le nombre des machines comprises dans les rapports s'élevait à 14, et à la fin de cette année il avait été porté à 19 ; le travail moyen de toutes les machines, pendant le mois de janvier, avait été jusqu'à 18200000 livres.

En 1813, le nombre des machines comprise dans les rapports continua à augmenter, et au mois de décembre, il se trouva monter à 29, dont le travail moyen fut de 20162000 livres.

Pendant quelques mois de l'année 1814, les rapports mensuels comprirent 32 machines dont le travail moyen pour le mois de décembre s'éleva à 19 784000 livres, élevées à un pied de hau-

teur avec chaque boisseau de houille (8992727 kilogrammes, élevés à 0,304799 mètre de hauteur, avec 38,18 kilogrammes de houille).

La Table qui suit est extraite des rapports de MM. Lean, et a été construite en comptant d'abord la quantité de machines comprises dans les rapports : par exemple, en janvier 1815, 32 machines ; en ajoutant ensuite la colonne qui contient la quantité de houille consommée par toutes les machines pendant le mois, et en écrivant la totalité 110824 ; en ajoutant de même les nombres de la colonne qui contient les livres élevées à un pied de hauteur par chaque machine, dont la somme est de 637320990, et en divisant enfin la dernière quantité par 32, nombre des machines, pour avoir la quantité moyenne de leur travail, c'est-à-dire ici, 19916250 livres.

TABLE.

Années.	Nombre des machines.	Boisseaux de houille consommés par toutes les machines.	Boisseaux de houille surlesquels le rapport est établi.	Livres d'eau élevées à un pied par la quantité de houille du rapport.	Quantité moyenne de livres d'eau élevée à un pied par chaque boisseau de houille.
1811.					
Août.	8.	23,661.	8.	126,126,000	15,760,000
Sept.	9.	25,237.	9.	125,164,000	13,900,000
Octob.	9.	24,487.	9.	121,910,000	13,540,000
Novemb.	12.	30,998.	12.	189,340,000	15,770,000
Décemb.	12.	39,545.	12.	204,907,000	17,075,000
1812.					
Janvier.	14.	50,089.	14.	237,661,400	16,972,000
Février.	15.	54,349.	15.	260,514,000	17,900,000
Mars.	16.	59,140.	16.	274,222,000	17,138,000
Avril.	16.	62,384.	16.	276,233,000	17,260,000
Mai.	16.	51,903.	16.	273,546,000	17,096,000
Juin.	17.	50,410.	17.	288,076,000	16,940,000
Juillet.	17.	51,574.	17.	300,441,000	17,677,000
Août.	17.	44,256.	17.	314,753,000	18,510,000
Sept.	18.	46,536.	18.	348,396,000	19,355,000
Octob.	18.	53,941.	18.	321,900,000	17,888,000
Novem.	21.	57,176.	21.	381,460,000	18,160,000
Décem.	19.	55,784.	19.	341,803,000	18,200,000
1813.					
Janvier.	19.	60,400.	19.	363,906,000	19,153,000
Février.	22.	58,044.	22.	438,737,000	19,940,000
Mars.	23.	73,862.	23.	440,642,000	19,157,000
Avril.	23.	61,739.	23.	431,032,000	18,700,000
Mai.	24.	58,890.	24.	463,346,000	19,300,000
Juin.	24.	53,110.	24.	470,157,000	19,590,000

TABLE.

Années.	Nombre des machines.	Boisseaux de houille consommés par toutes les machines.	Boisseaux de houille sur lesquels le rapport est établi.	Livres d'eau élevées à un pied par la quantité de houille du rapport.	Quantité moyenne de livres d'eau élevée à un pied par chaque boisseau de houille.
1813.					
Juillet.	23.	56,709.	23.	443,462,000	19,280,000
Août.	21.	50,110.	21.	416,898,000	19,852,000
Sept.	22.	58,008.	22.	427,148,000	19,415,000
Octob.	26.	74,796.	26.	488,671,000	18,795,000
Novem.	28.	77,135.	28.	537,958,000	19,212,000
Décem.	29.	86,273.	29.	584,721,000	20,162,000
1814.					
Janvier.	28.	91,753.	28.	550,751,000	19,170,000
Février.	26.	78,986.	26.	536,677,000	20,641,000
Mars.	28.	109,904.	28.	565,406,000	20,193,000
Avril.	29.	91,607.	29.	576,617,000	20,325,000
Mai.	28.	79,437.	28.	569,319,000	20,395,000
Juin.	30.	75,343.	30.	626,669,000	20,888,000
Juillet.	27.	85,224.	27.	573,208,000	21,229,000
Août.	26.	70,443.	26.	545,019,000	20,960,000
Sept.	27.	78,167.	27.	560,608,000	20,763,000
Octob.	32.	75,080.	32.	630,704,000	19,709,000
Novem.	32.	82,000.	32.	637,322,000	19,916,000
Décem.	29.	84,669.	29.	573,744,000	19,784,276
1815.					
Janvier.	32.	110,824.	32.	637,320,090	19,916,250
Février.	33.	101,667.	33.	710,271,250	21,523,370
Mars.	34.	117,342.	34.	706,071,990	20,766,820
Avril.	35.	105,701.	35.	695,212,340	19,863,210
Mai.	34.	107,530.	34.	669,299,140	20,479,350

Il résulte de la table précédente que le travail moyen des machines comprises dans les rapports, celles construites suivant le principe de Woolf exceptées, est maintenant d'environ 20 millions de livres d'eau élevées à un pied avec 84 livres de houille. (Environ 9090000 kilog. élevés à trois décimètres, avec 38 kilog. de houille.)

Nous avons omis à dessein la machine de M. Woolf, parce que l'un des objets qu'on avait en vue, en faisant chaque mois le relevé du travail exécuté par les machines employées dans les mines, principalement pour le service des pompes, était de connaître le mérite relatif des machines de Woolf, à deux cylindres, comparées avec les machines ordinaires. Une machine de Woolf a été dernièrement établie dans la mine de Wheal Vor. Son grand cylindre a 53 pouces (1,346 mètre) de diamètre; le petit cylindre a environ la cinquième partie de la capacité du premier, la course des pistons est de 9 pieds (2,74 mètres). Suivant le rapport de M. Lean, le travail de cette machine, en mai 1815, a été de 49980882 livres, élevées à un pied par chaque boisseau de houille consommée, et dans le mois de juin, il s'est élevé à 50333000.

Il paraît donc que le travail moyen de la machine de Woolf, pendant ces deux mois, a été de 50000000 (22727000 kilog.), tandis que le travail moyen de toutes les autres machines n'a été que de 20000000 (9090000 kilog). Il en résulte évidemment que les perfectionnements faits aux machines à vapeur par M. Woolf offrent de très grands avantages à tous les propriétaires des mines; dans certaines mines d'Angleterre, où cette machine finira tôt ou tard par être adoptée, la seule économie en combustible augmentera de plusieurs milliers de livres sterling les dividendes annuels des propriétaires. Ce n'est pas tout; l'économie qui en résultera empêchera de suspendre l'exploitation de beaucoup de mines, et donnera le moyen de reprendre des exploitations qu'on avait été forcé d'abandonner, à raison des trop grands frais qu'y nécessitait l'épuisement des eaux.

Suivant le rapport de MM. Lean, pour le mois de janvier 1816, le travail moyen de 33 machines a été de 20694630 livres, éle-

vées à un pied par chaque boisseau de houille consommée. Pendant ce même mois, la machine de Woolf à Wheal Vor, éleva 47900333 livres; et celle qu'il a établie à Wheal Abraham élève 45896382 livres à un pied de hauteur avec chaque boisseau de houille.

Ayant examiné la construction des différentes espèces de machines à vapeur généralement employées, nous nous abstiendrons d'entrer dans le détail des divers essais tentés pour les perfectionner; essais plus ou moins ingénieux, et dont leurs auteurs ont rempli depuis long-temps nos ouvrages périodiques.

Les calculs relatifs à la puissance de la vapeur sont d'une grande importance; mais l'expérience a appris que dans la pratique il ne faut pas compter sur leur exactitude. Nous avons montré précédemment que l'on peut constater avec beaucoup de précision la quantité de force actuelle qu'exerce la pression de la vapeur, au moyen de jauges et de soupapes de sûreté; mais il n'est pas aussi facile de découvrir la force réelle disponible qui en résulte, parce que les frottemens des diverses parties varient beaucoup, à raison de l'état dans lequel elles se trouvent. Dans les machines à condenseur, l'état de la condensation fait que le vide est plus ou moins parfait, et cet état éprouve des variations, quelle que soit la vigilance de ceux qui soignent les machines. Il est assez généralement établi, parmi les ingénieurs, que près de la moitié de la puissance de la vapeur doit être déduite de sa force disponible: supposons donc une machine dont le piston ait 24 pouces de diamètre, ce qui répond à une surface de 452 pouces carrés. Supposons que le vide au-dessous de cette surface soit parfait, ce qu'indique le baromètre du condenseur; que le poids de l'atmosphère soit de 14 livres environ, ce qu'apprend le baromètre atmosphérique; et enfin, que la jauge à vapeur sur la chaudière soit à peu près à deux pouces, ce qui indique une pression de 2 livres; alors nous pouvons évaluer à 17 livres, par pouce carré, la pression qui s'exerce sur le piston; la pression totale sur le piston est donc de $17 \times 452 = 7684$ livres; déduisant la moitié de cette somme, à cause des frottemens, il reste 3842 livres de force disponible, qui se meut avec la même

vitesse que se meut le piston ; cette force étant divisée par la quantité à laquelle MM. Boulton et Watt évaluent la force d'un cheval, donnera pour quotient le nombre qui exprimera la puissance de cette machine. Dans les machines à haute pression où la vapeur n'est pas condensée, le nombre des pouces que la jauge à vapeur de la chaudière indique, fait seul connaître la force qui s'exerce sur le piston.

On sait depuis long-temps que les degrés d'augmentation de la puissance suivent une proportion bien plus rapide que ceux de la température ; et de nos jours un mécanicien ingénieux a essayé d'employer la vapeur à une très haute pression. Sans entrer dans le détail des obstacles qu'il a rencontrés, nous nous bornerons à dire en deux mots, que le degré de force nécessaire aux parties d'une machine pour résister à la pression, joint à la chaleur excessive, présente des difficultés qu'on aura beaucoup de peine à surmonter.

Le mouvement alternatif occasionne dans les machines à vapeur une perte d'effet qu'on ne peut nier. Car l'action du balancier et des autres parties qui s'exercent dans un sens, doit être tout à coup suspendue, pour se porter dans le sens opposé, ce qui ne peut se faire sans consommer de la force. C'est donc avec beaucoup de raison qu'on a cherché à le remplacer par un mouvement de rotation ; mais on n'y a pas réussi jusqu'à présent, du moins d'une manière avantageuse.

MM. Boulton et Watt, voulant faire servir la machine à vapeur à beaucoup de travaux pour lesquels on employait auparavant la force des chevaux, furent obligés de prendre en considération le nombre des chevaux nécessaires pour chaque service particulier, afin de connaître la quantité de forces dont ils avaient besoin. La conclusion qu'ils tirèrent d'une longue suite d'expériences, fut qu'un cheval travaillant huit heures par jour, pouvait élever 33000 livres à un pied de hauteur dans une minute (15000 kilogrammes à 3 décimètres de hauteur). Ainsi, l'on connaît le nombre de chevaux à la force desquels une machine est égale, en divisant par 33000 le nombre de livres qu'elle peut élever à un pied dans une minute.

Il faudrait un grand nombre de volumes si l'on entreprenait de décrire les différentes formes de construction que l'on a essayé de donner aux machines depuis que l'on connaît la puissance de la vapeur, et l'instruction que l'on en retirerait serait comparativement d'une très-petite utilité, attendu que la plupart des essais ont été faits par des hommes qui, ne connaissant pas les principes de l'action de la machine, n'ont pu imaginer que des changemens qu'il est permis de regarder comme futiles.

Celui qui a la prétention de perfectionner les machines à vapeur doit bien se pénétrer des principes de leur action. Dans les machines à condenseur, le mouvement est opéré par l'augmentation et la diminution alternative de la température, et la perfection de l'une et de l'autre est très-importante. L'objet principal auquel on doit tendre est donc de soutenir le haut degré de chaleur pendant que la force de la vapeur agit, et de le diminuer tout-à-coup, lorsque la condensation doit s'effectuer. Newcommen y avait eu égard dans la construction de sa machine, et Watt a rempli cet objet d'une manière encore plus parfaite. Si l'on veut perfectionner les autres parties de ces machines, il faut s'occuper de leur poids et des frottemens auxquels elles sont exposées, et chercher un moyen de remplacer le mouvement alternatif par un mouvement de rotation.

Ce que l'on doit surtout recommander, c'est la simplicité de construction dans toutes les combinaisons mécaniques. Il est un grand nombre d'inventions qui mériteraient sans doute le nom de perfectionnement, si les difficultés que présente leur exécution ne les rendait pas tout-à-fait impraticables.

On a très-souvent cherché les moyens d'éviter l'emploi de la pompe à air, qui enlève une partie considérable de la puissance de la machine. On a quelquefois fait usage d'un baromètre à eau adapté au condenseur, et une chute d'eau passant au-dessus des bords supérieurs d'un tuyau et au-dessous de son orifice, a été employée pour chasser l'air devant elle. Le bout d'en haut de ce tuyau communique avec le tuyau d'éduction, et soutient, dit-on, un vide d'une très-grande rareté. On a plusieurs fois aussi

cier, une des ouvertures *hh*. Les boutons *pp*, attachés à la tringle de l'un des flotteurs font mouvoir le petit tuyau R, sur son centre, lequel, au moyen des tringles R^1R^1, attachées aux manivelles dans la chambre S, ouvre et ferme alternativement les tuyaux S^1 et S_1, qui communiquent avec les vaisseaux F et F^1, DD est un tuyau destiné à conduire du gaz, qui doit servir à opérer le vide ; il vient du gazomètre, et se divise en deux branches D^1D^1, pour se rendre aux deux chambres C et C^1 et y porter le gaz qui doit servir par sa combustion à opérer le vide. Ce gaz peut être introduit ou arrêté à volonté au moyen des robinets D^2D^2, qui s'ouvrent et se ferment par des manivelles que le mouvement du balancier fait agir.

GG sont deux autres tuyaux d'embranchement qui reçoivent du gaz du gazomètre et se terminent par un bec. La direction oblique de ces becs doit nécessairement porter la flamme du gaz qu'on y allume dans la chambre à laquelle chacun répond, quand l'orifice *h* de cette chambre est ouvert.

K et K^1 sont deux tuyaux qui permettent à l'air extérieur de communiquer dans l'intérieur de chacune des chambres C et C^1 ; leurs bouts extérieurs peuvent se fermer, au moyen des deux manivelles *nn* attachées par des chaînes aux flotteurs F^2F^2.

La manière de faire agir la machine consiste à permettre au gaz de passer dans une des branches du tuyau DD, et de là, dans une des chambres C ou C^1 (supposons C^1), où il est enflammé au moyen du jet de gaz allumé, qui se porte dans l'orifice *h*, et où par sa combustion il raréfie et chasse de la chambre une quantité considérable d'air atmosphérique. Supposons maintenant que le couvercle de cette chambre soit enlevé, et que le mouvement de la tringle attachée au flotteur fasse fermer l'orifice *h*, et le tuyau à gaz D, la combustion cessera immédiatement, et il se fera un vide partiel. L'air extérieur commencera alors à presser la surface du vase F et forcera l'eau à passer de ce vase dans la chambre C^1, en quantité assez considérable pour remplir presque entièrement le vide ; la soupape par laquelle cette eau a passé étant alors fermée, et une communication s'ou-

peur s'échappe par la soupape du condenseur ; car, tant que toutes les parties ne sont pas assez échauffées, la vapeur se condense à mesure qu'elle pénètre plus avant.

Dès que toutes les parties sont chaudes on fait arriver l'eau d'injection, et en faisant le vide d'un côté du piston, le mouvement commence au même instant.

Le levier de la soupape à gorge qui doit être fixé le dernier au modérateur, doit, lorsque la machine est prête à marcher, être tenu par celui qui la conduit, jusqu'à ce que la machine mise en train, ait acquis un mouvement régulier.

Machine de Brown, dite *Pompe pneumatique.*

La machine que nous allons décrire mérite l'attention que lui ont donnée les personnes qui s'occupent des arts mécaniques ; elle remplacerait avec avantage les machines à vapeur, si l'on parvenait à trouver un moyen d'obtenir une condensation rapide, sans être obligé de faire entrer de l'eau dans les cylindres à chaque coup de piston.

AA (*fig.* 42) est un balancier qui peut se mouvoir sur un centre B. C et C^1 sont deux chambres faites en métal, et assez fortes pour résister à la pression de l'atmosphère (près de 10 grammes, par millimètre carré), sur leur surface extérieure ; deux couvercles ou chapes C^2 et C^2, un pour chaque chambre, sont suspendus aux deux bouts du balancier, immédiatement au-dessus de l'ouverture de chaque chambre qu'ils peuvent fermer hermétiquement. C^1 est une coupe de l'une de ces chambres.

EE et E^1E^1 sont deux tuyaux garnis intérieurement de soupapes ouvrant par en haut, conduisant des vaisseaux F et F^1, aux chambres C et C^1, avec lesquels ils les font communiquer. Les vaisseaux F et F^1 contiennent chacun un flotteur F^2F^2, attaché au balancier AA par une tringle que le flotteur fait mouvoir ; à ces tringles sont attachées les pièces *tt*, qui sont destinées à fermer alternativement, et à chaque vibration du balan-

moins considérable, et il ne faut ni autant de force dans le bâtiment où on l'établit, ni une cheminée élevée. Dans le bateau elle présente de très-grands avantages, sous le rapport de la place qu'elle laisse pour le chargement, tant à cause de sa plus grande légèreté et de ses plus petites dimensions, que parce qu'elle ne demande qu'un espace très borné pour y placer le combustible nécessaire à sa consommation. »

« Troisièmement, cette machine est entièrement exempte de danger. Comme on n'y emploie pas de bouilloire, il ne peut pas y avoir d'explosion ; et comme la quantité de gaz consumé est très-petite, et que la seule pression est celle de l'atmosphère, il est impossible que le cylindre crève, ou qu'on soit exposé aux accidens qui arrivent dans les bateaux à vapeur. »

« La puissance de la machine (dérivant de la pression atmosphérique de 10 grammes environ par millimètre carré) peut être indéfiniment augmentée, en augmentant les dimensions des cylindres, et facilement constatée au moyen d'une jauge à mercure. »

« C'est un fait bien connu, que la puissance moyenne disponible d'une machine à vapeur à condenseur, n'est que d'environ 5 grammes par millimètre carré, quand on en a déduit la perte qui résulte des frottemens occasionnés par l'usage des pompes à air, à eau, etc., etc. »

« La machine que nous venons de décrire sera bien moins coûteuse que la machine à vapeur, surtout si elle est construite spécialement pour élever de l'eau ; elle est donc très-propre pour remplir les réservoirs, et à être employée au dessèchement des marais, etc., etc. Les dépenses d'entretien seront aussi bien moins considérables que celles d'une machine à vapeur ; et quand elle pourra être accidentellement dérangée, il faudra peu de temps, et très-peu de dépense pour la réparer. »

En examinant les effets de cette machine, on ne peut, jusqu'à un certain point, lui refuser son approbation. Car l'inventeur est certainement parvenu à opérer le vide par la combustion, et à en tirer parti d'une manière différente et plus commode que toutes celles qui ont été essayées jusqu'à présent, au moins à

notre connaissance. Quant à la possibilité de voir cette machine entrer en concurrence avec la machine à vapeur, c'est une question que nous laissons au temps et à l'expérience à résoudre. On assure que l'intention de l'auteur est d'appliquer les effets du vide produit par sa méthode au mouvement d'un piston dans le cylindre. S'il y réussit, il lui sera bien plus facile d'employer utilement cette puissance, et sa machine pourra servir particulièrement au transport des hommes et des marchandises.

FIN.

TABLE

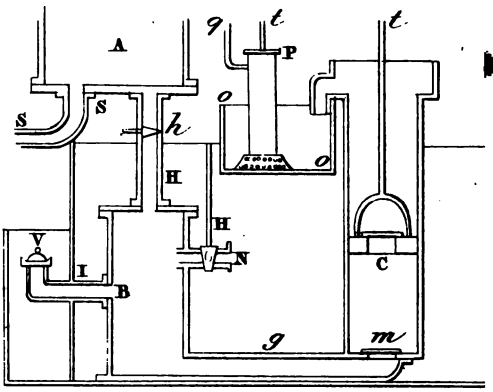
DES MATIÈRES.

Préface du traducteur. . . . . Page III
Force élastique de la vapeur. 7
Manière d'opérer de la vapeur. 8
Pression de l'atmosphère évaluée en livres et en grammes. . . 9
Machine à vapeur de Savary. 11
Robinets d'épreuve. 12
Soupape de sûreté inventée par Papin. 13
Machine de Newcommen. 14
Manivelle et volant de Wasbrough. 16
Chemise ou cylindre enveloppe de Watt. 18
Machine de Watt à simple effet. 21
Machine de Watt à double effet. 23
Robinet à quatre fins. . . . . *ib.*
Soupape pour opérer la condensation. 24
Soupape à tiroir. 26
Soupapes en D. . . . . *ib.*
Soupapes concentriques. 27
Du piston et de sa construction. 28
Manière d'imprimer le mouvement aux soupapes. 30
Moyen de faire mouvoir le piston. 31
Modérateur. 33
Des chaudières pour produire la vapeur. 34
Des tuyaux pour conduire la vapeur. 35
Machines à deux cylindres. 37
Examen de la machine à deux cylindres. 42
Tables des forces séparées et de la force combinée des deux pistons de ces cylindres. 44
Loi suivant laquelle diminue la pression de la vapeur. . . . 48
Machine de Woolf. 51
Table de Woolf. 53
Perfectionnement à la machine de Woolf. 59

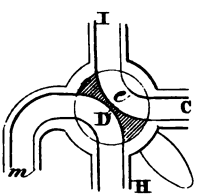
Nouveaux perfectionnemens. 61
Chaudières de Woolf. 64
Soupape régulatrice de Woolf. 69
Machine à levier rotatif. 71
Machine vibrante. . . . . *ib.*
Machine à rotation continue. 72
Machine à haute pression. 74
Machine de Trewitheck. 76
Machine portative. 77
Machine pour les moulins à sucre. . . . . *ib.*
Rapport de MM. Lean sur le travail des machines. 79
Table de MM. Lean. 81
Manière de mettre une machine en mouvement. 87
Machine pneumatique de Brown. 88

FIN DE LA TABLE.

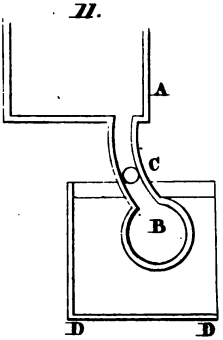
7.



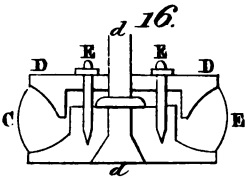
10.



11.

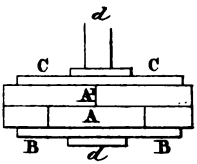


16.



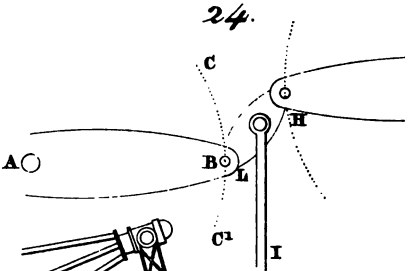
17.

18.

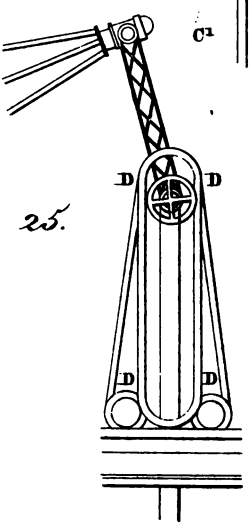


19.

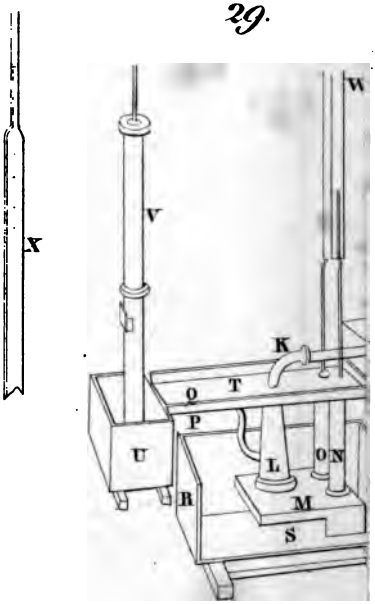
24.



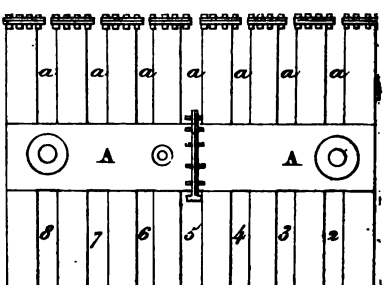
25.



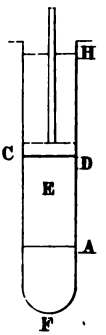
29.



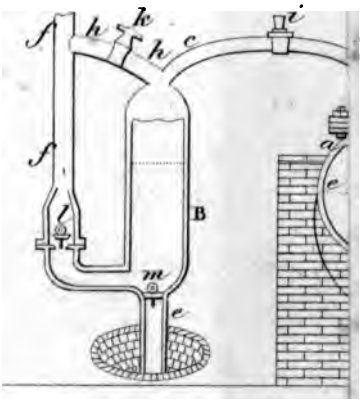
32.

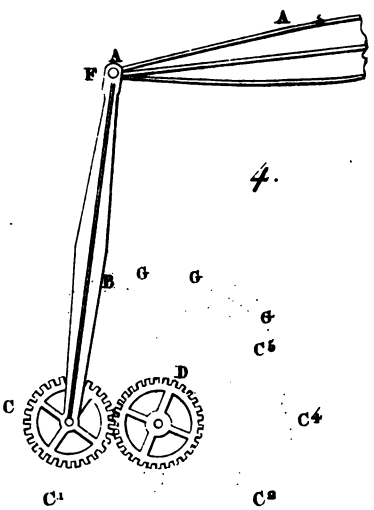


1.



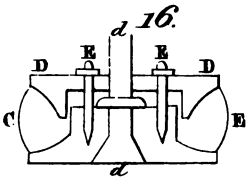
2.





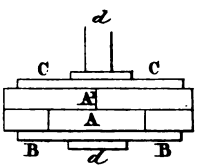
4.

16.



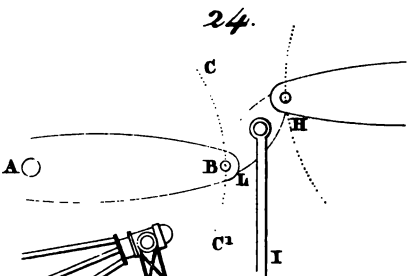
17.

18.

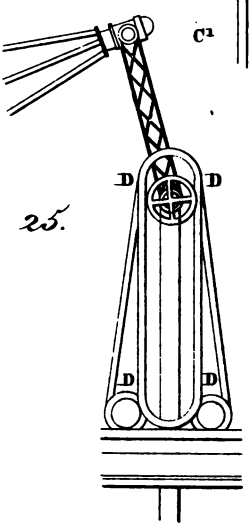


19.

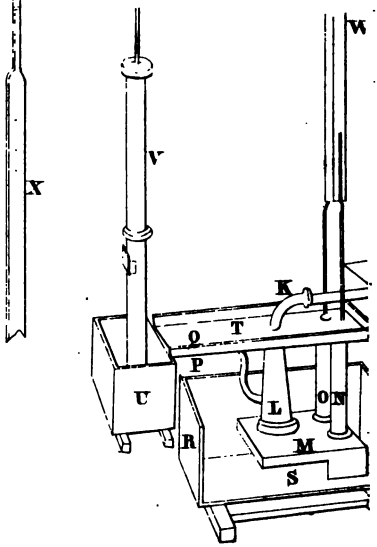
24.



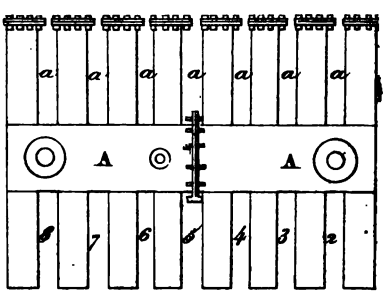
25.



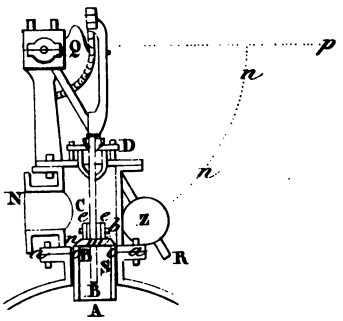
29.



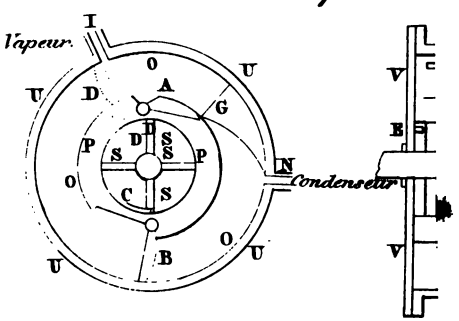
32.



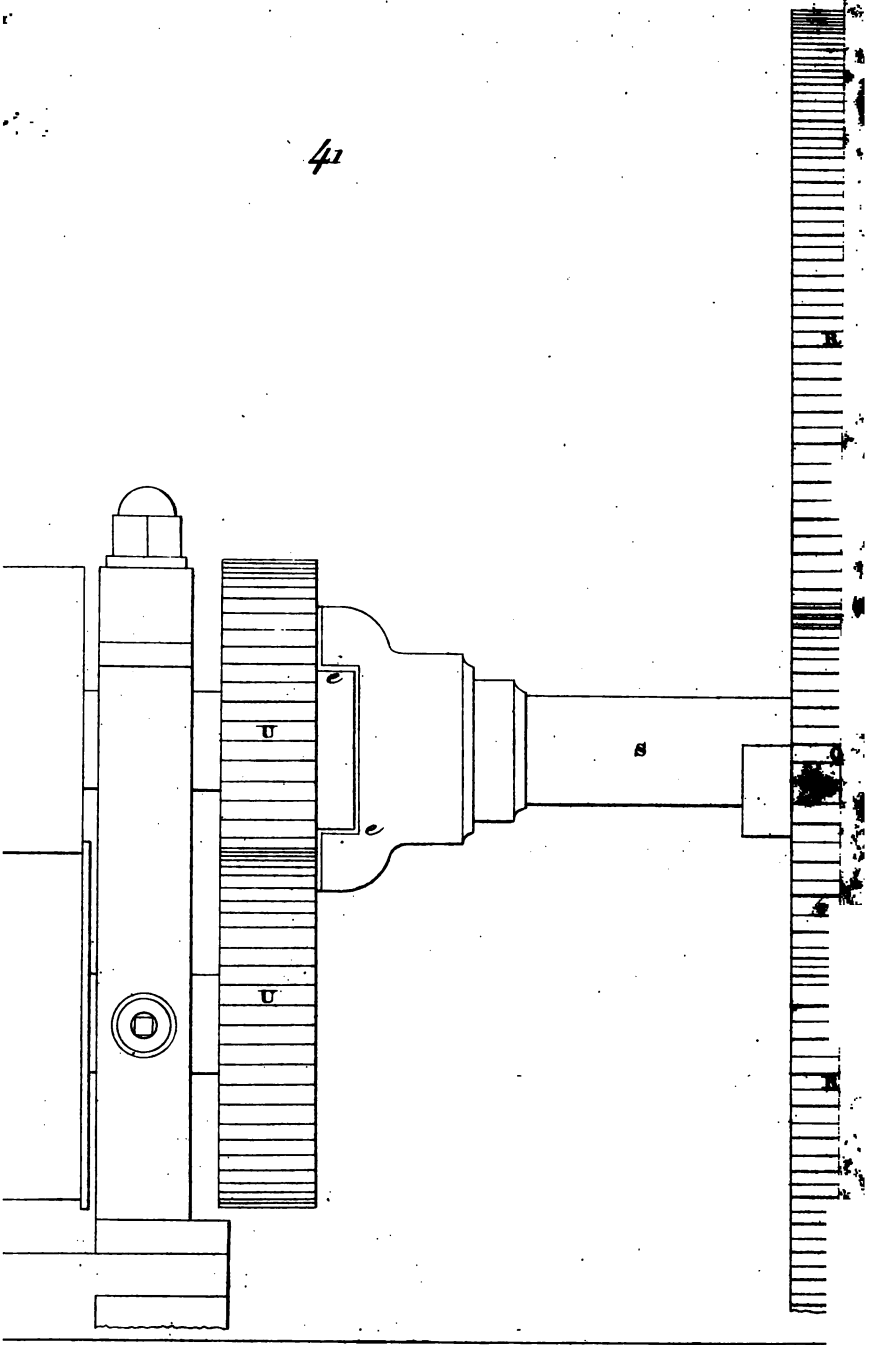
34.


Q
p
n
n
D
N
C
e
e
Z
R
B
S
B
A

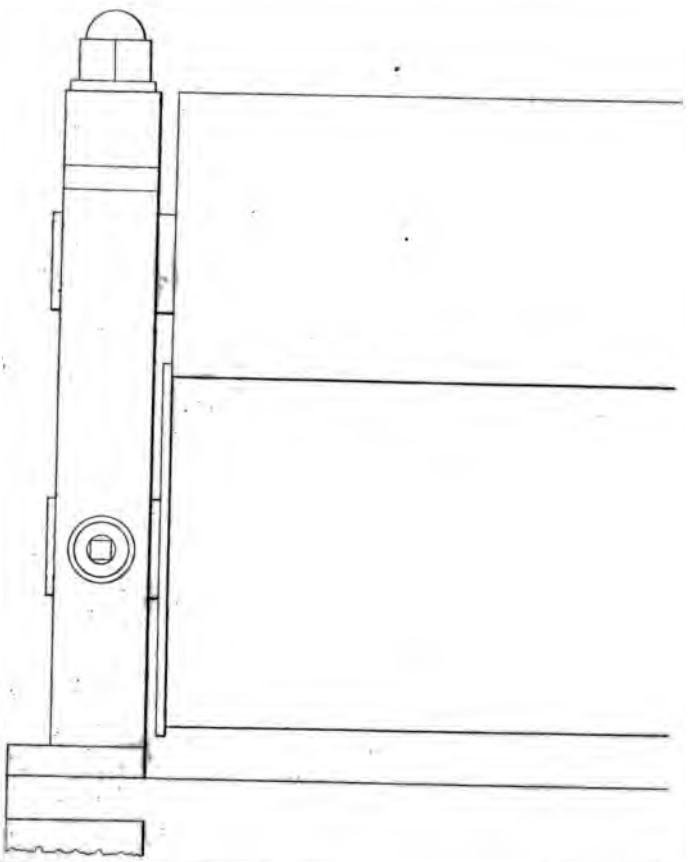
37


Vapeur.
I
O
U
U
D
A
G
D
S
S
P
S
P
N
Condenseur
O
C
S
O
U
B
U
V
E
V

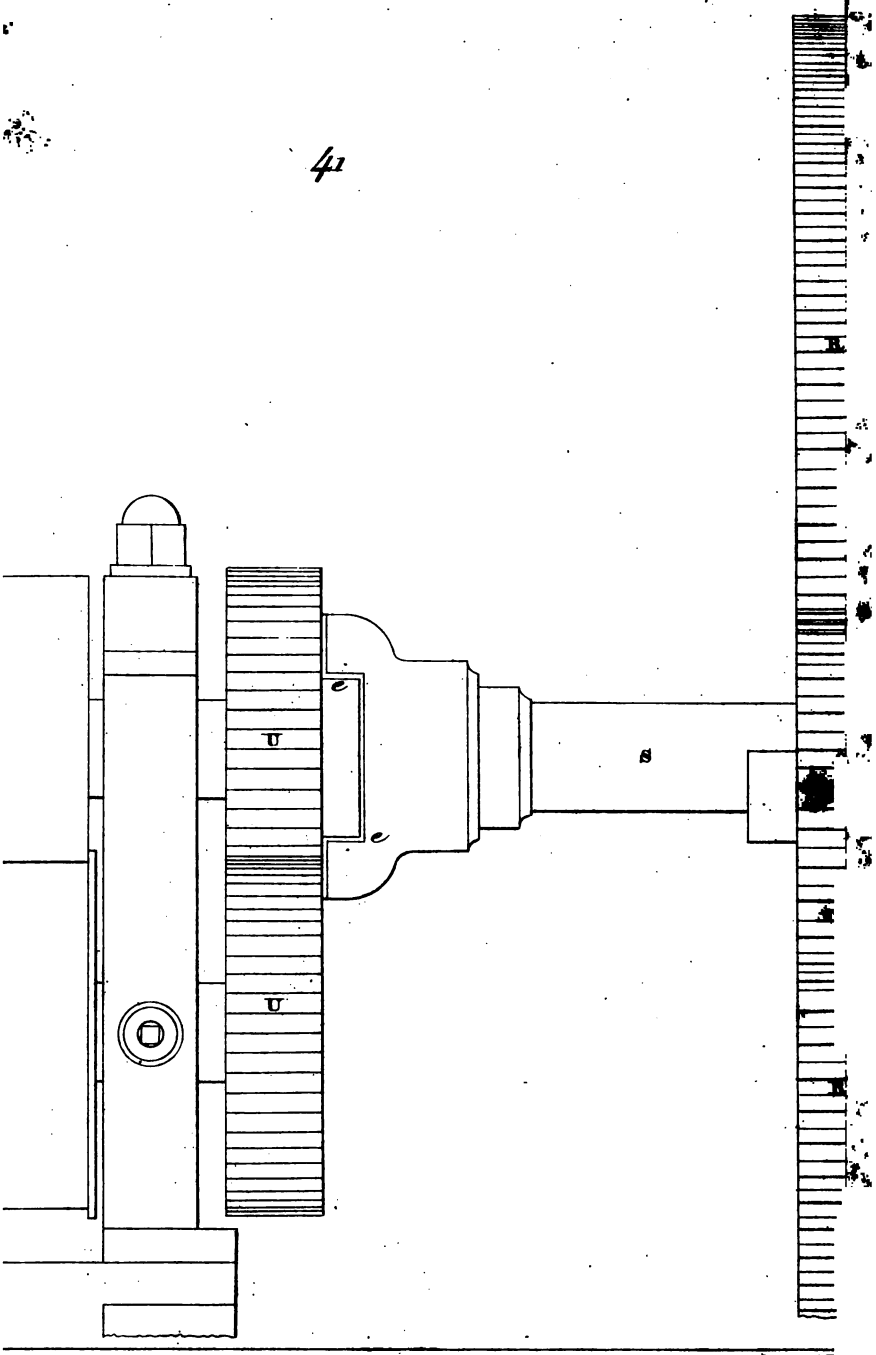
41



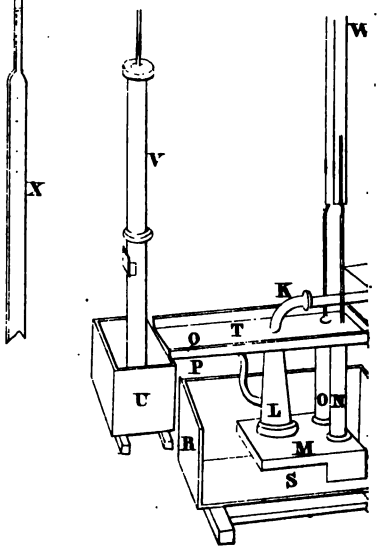
Elévation d'une machine à vapeur
construite pour le moulin d'une suc



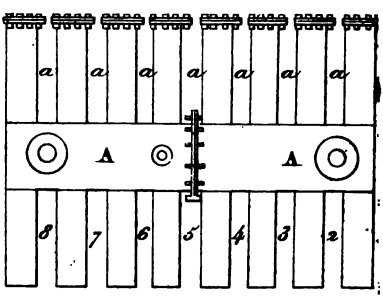
41



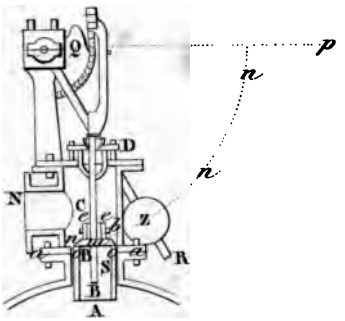
29.



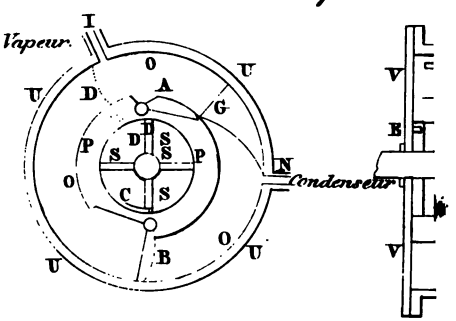
32.

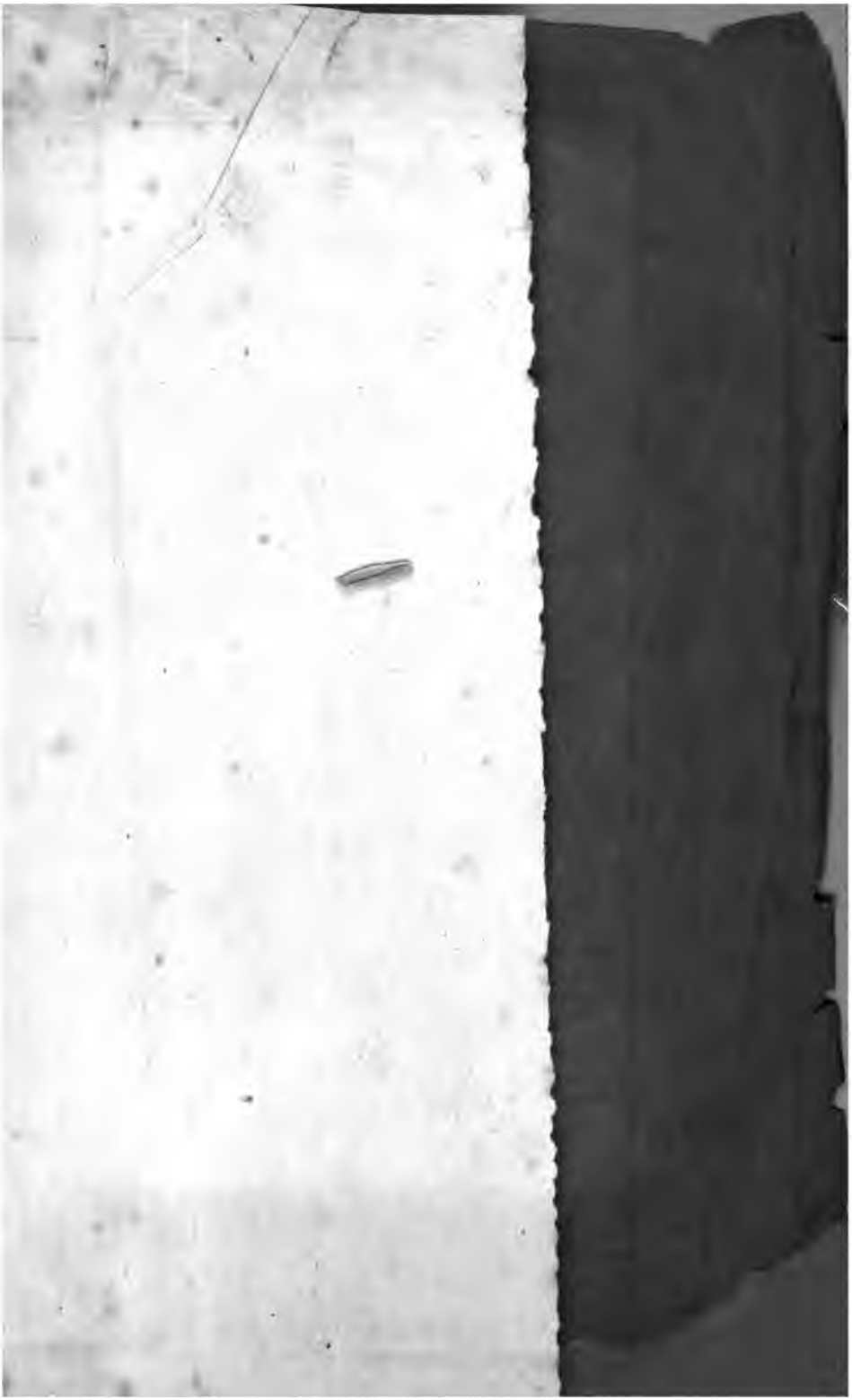


34.

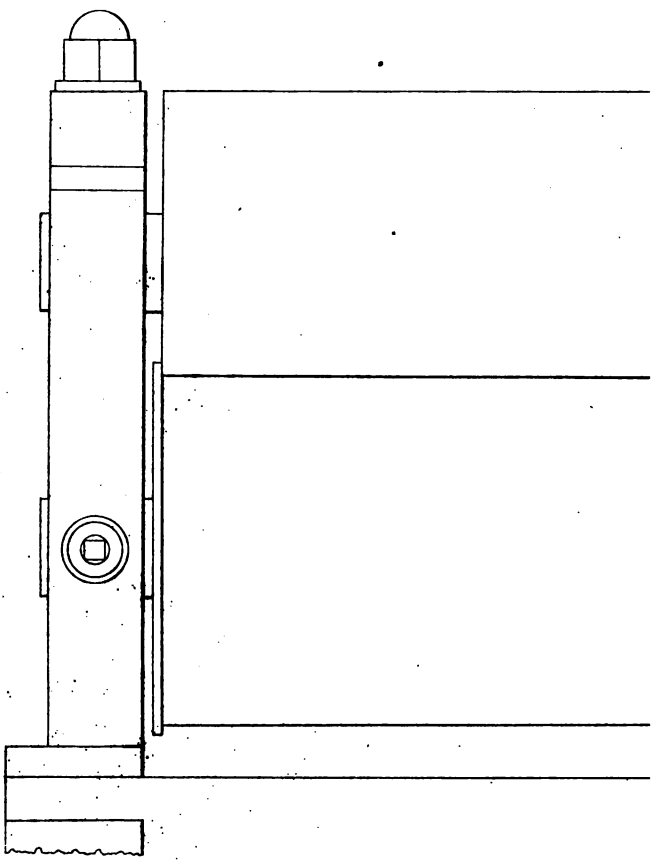
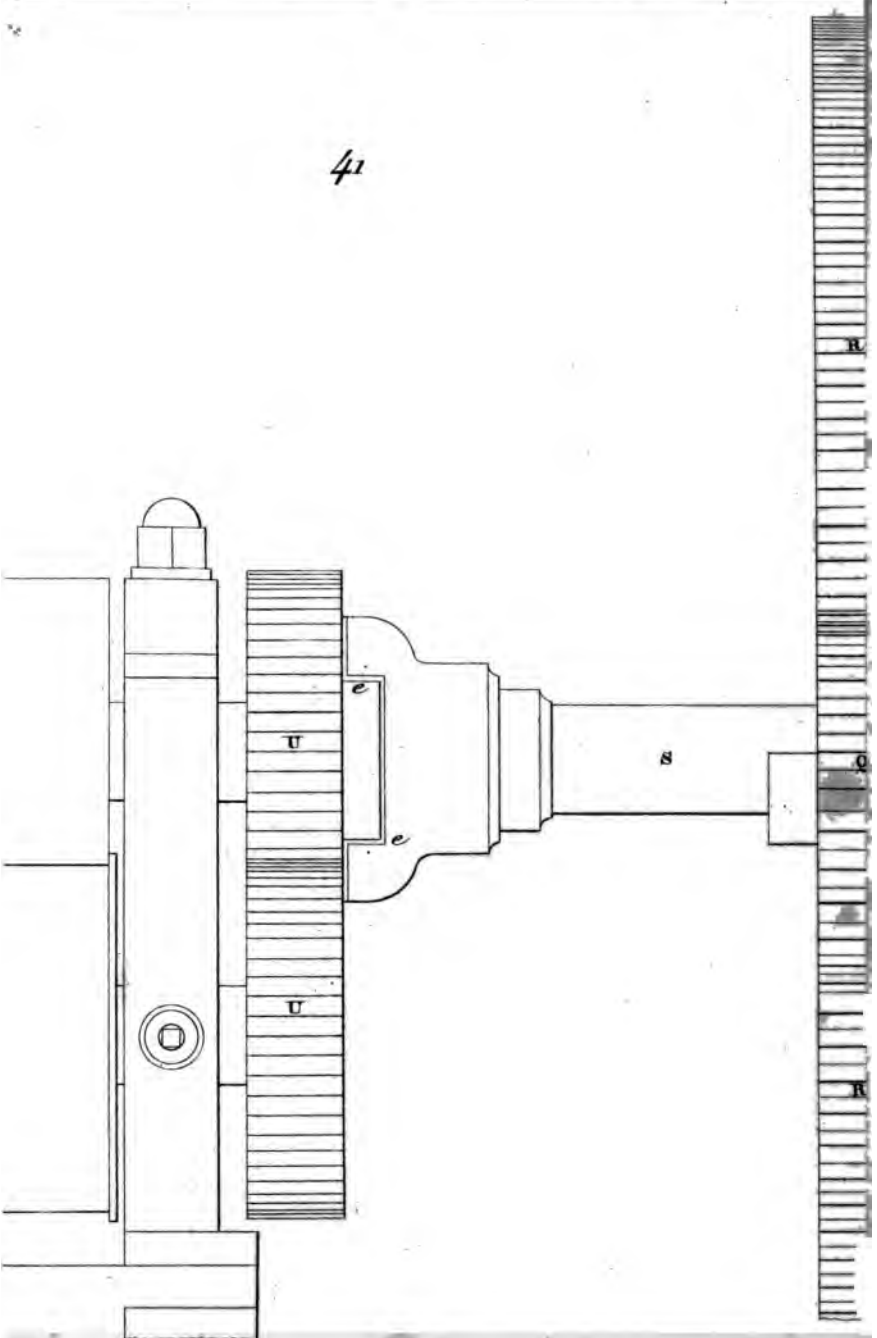


37





Elévation d'une machine à vapeur
construite pour le moulin d'une su



41